DORU CIUCESCU **MIRELA GHEORGHIAN**

ŞTIINŢA ŞI INGINERIA MATERIALELOR

(ÎNDRUMAR DE LABORATOR)

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ R.A.
BUCUREŞTI
2009

Copyright © 2009 Toate drepturile acestei ediții sunt rezervate
Editurii Didactice şi Pedagogice R.A. Bucureşti

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale
Ştiința şi ingineria materialelor (Îndrumar de laborator) / Doru Ciucescu, Mirela Gheorghian
Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti R.A. 2009
105 p.; 24 cm
Bibliografie
ISBN 978-973-30-2545-0

Coordonarea lucrării: prof.univ. dr. ing. Doru Ciucescu

Contribuția autorilor este următoarea:
prof.univ. dr. ing. Doru Ciucescu – 85%
şef lucr. dr. ing. Mirela Gheorghian – 15% (lucrarea de laborator nr. 1 şi anexa 2)

Referenți ştiințifici:
prof.univ. dr. ing. Constantin Dumitrescu
prof.univ. dr. ing. Alexandru Traian Dumitrescu

CUVÂNT ÎNAINTE

Progresele înregistrate în industrie sunt legate, de cele mai multe ori, de rezultatele cercetării ale fizicii corpului solid, de crearea unor noi grupe de materiale, de o îmbunătățire a proprietăților materialelor deja existente.

De asemenea, se pune problema alegerii optime a materialelor conform principiului obținerii maximului de performanțe tehnice cu minimum de cheltuieli.

Un rol deosebit în acest progres este jucat de mijloacele de investigație, care să evidențieze cât mai veridic structura şi proprietățile materialelor analizate.

În contextul mondializării economiei, tot mai multe materiale metalice indigene vor fi înlocuite cu materiale din import şi invers. Pentru uşurarea alegerii şi utilizării materialelor metalice, în România s-a trecut treptat la înlocuirea vechilor STAS-uri (STAndard de Stat) cu noile SR EN-uri (Standard Român conform cu European Norm) sau cu noile standarde ISO (International Standard Organization).

Prezenta lucrare vine în sprijinul celor confruntați cu dificilele probleme pe care le ridică studierea structurii şi influenței ei asupra proprietăților materialelor.

Parcurgerea acestui îndrumar de laborator permite obținerea de către studenți a următoarelor competențe:

-să pregătească probele metalografice;

-să analizeze macroscopic materiale pe suprafețe pregătite şi nepregătite;

-să analizeze microscopic oțelurile, fontele, cuprul şi aliajelor sale, aluminiul şi aliajele sale;

-să analizeze o diagramă de echilibru.

În acest sens, lucrarea de față este structurată pe următoarele lucrări de laborator:

1. Pregătirea probelor metalografice

2. Analiza macroscopică a materialelor metalice

3. Studiul microscopic al oțelurilor la echilibru

4. Studiul microscopic al fontelor la echilibru

5. Studiul microscopic al cuprului şi aliajelor pe bază de cupru

6. Studiul microscopic al aluminiului şi aliajelor pe bază de aluminiu

7. Microscopul metalografic

Conştienți fiind de complexitatea subiectului tratat, autorii consideră orice sugestie şi recomandare ca un gestde bunăvoință.

Autorii

CUPRINS

Lucrarea de laborator nr.1. Pregătirea probelor metalografice.....5

Lucrarea de laborator nr.2. Analiza macroscopică a materialelor metalice.....13

Lucrarea de laborator nr.3. Studiul microscopic al oțelurilor la echilibru.....17

Lucrarea de laborator nr.4. Studiul microscopic al fontelor la echilibru.....37

Lucrarea de laborator nr.5. Studiul microscopic al cuprului şi aliajelor pe bază de cupru.....49

Lucrarea de laborator nr.6. Studiul microscopic al aluminiului şi aliajelor pe bază de aluminiu.....58

Lucrarea de laborator nr.7. Microscopul metalografic.....72

Anexa 1. Proprietățile mecanice ale materialelor metalice.....76

Anexa 2. Structuri caracteristice ale materialelor metalice.....99

Bibliografie.....103

LUCRAREA DE LABORATOR NR.1
PREGĂTIREA PROBELOR METALOGRAFICE

A. Noțiuni introductive

Structura are o influență majoră asupra caracteristicilor mecanice şi condiționează utilizarea materialelor metalice. În funcție de scara la care este analizată, structura poate fi:

-macroscopică (cu ochiul liber sau cu lupa);

-microscopică (cu microscopul optic, cu microscopul electronic prin tramsmisie, cu microscopul electronic cu baleiaj);

-cristalină (metoda Laue, metoda pudrelor etc.).

Proba metalografică este o porțiune de material pregătită în vederea analizei macroscopice sau microscopice.

În general, obținerea probei metalografice se realizează printr-o succesiune de operații, şi anume:

1. alegerea locului de prelevare;
2. prelevarea;
3. obținerea suprafețelor plane;
4. şlefuirea;
5. lustruirea;
6. atacul chimic;
7. atacul electrochimic.

A.1. Alegerea locului de prelevare

Alegerea locului de prelevare are în vedere aceleaşi considerente, indiferent dacă proba este destinată analizei macroscopice sau microscopice.

Astfel, la un semifabricat, locul de prelevare se recomandă a fi zona axială la care se poate pregăti o față într-un plan longitudinal.

La piesele cu defecte, locul respectiv trebuie să cuprindă defectul.

În cazul pieselor turnate, este bine să se aleagă mai multe locuri de prelevare, câte unul pentru fiecare zonă de solidificare.

Pentru piesele tratate termic superficial sau temochimic, este necesar ca locul de prelevare să conțină atât stratul exterior cât şi o porțiune din stratul interior adiacent.

La îmbinările sudate, locul de prelevare trebuie să cuprindă atât cusătura cât şi zona de trecere, zona influențată termic. precum şi o porțiune din metalul de bază.

A.2. Prelevarea

Prelevarea trebuie să fie astfel efectuată încât să nu producă modificări structurale în material prin încălzire sau prin deformare plastică la rece. De aceea se evită, pe cît posibil, tăierea cu flacăra oxiacetilenică, care duce la încălzirea materialului metalic, cu excepția cazului când piesa sau semifabricatul au dimensiuni mari, la care se recomandă ca planul tăierii respective să fie la o distanță de cel puțin 50 mm de suprafața cea mai apropiată a probei.

-De asemenea, se are în vedere faptul că tăierea prin forfecare sau dăltuire produce o deformare nepermisă a materialului metalic. În acest sens, se recomană prelevarea prin tăiere fie cu ferăstrăul manual, fie cu maşinile-unelte.

Deoarece restul operațiunilor diferă uneori în mare măsură de la o metodă de analiză la alta, ele vor fi prezentate separat.

A.a. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice

Analiza macroscopică se realizează pe suprafețe micrografice (atacate sau neatacate) sau pe suprafețe macrografice (de ruptură).

În general, suprafețe macrografice se pregătesc în cazul aliajelor fierului şi modul lor de obținere diferă de la o analiză la alta. Cele mai utilizate metode sunt următoarele:

-metoda cu acizi puternici;
-metoda atacului cu săruri de cupru;
-metoda amprentei Baumann.

A.a.I. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare metodei atacului cu acizi minerali puternici

A.a.I.3. Obținerea suprafețelor plane

Suprafața plană se realizează prin pilire, polizare, frezare sau strunjire. Se evită utilizarea discurilor abrazive cu grăunți grosolani sau cu scule nepotrivite, care să conducă la o încălzire a probei metalografice.

A.a.I.6. Atacul chimic

Atacul chimic al suprafeței plane se realizează, pentru analizele macroscopice uzuale, cu reactivii din tabelul 1. Lista reactivilor din tabelul 1 nu este exhaustivă. În final, se spală succesiv proba în jet de apă sau alcool.

Tabelul 1.

Denumirea reactivului	Compoziția reactivului (% volumice)	Temperatura reactivului (°C)	Durata atacului chimic
Acid clorhidric	50% HCl 50% H_2O	80	1h
Acid sulfuric	15% H_2SO_4 concentrat	20	12 h
Apă regală	75% HCl 25% HNO_3	60	99 min

A.a.II. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare metodei atacului cu săruri de cupru

A.a.II.3. Obținerea suprafeței plane

Obținerea suprafeței plane se realizează identic ca la aliniatul A.a.I.3.

A.a.II.4. Şlefuirea

Uneori, când se urmăreşte neomogenitatea chimică, se utilizează şi şlefuirea, prin frecarea probei metalografice pe hârtie abrazivă cu o granulaţie din ce în ce mai fină a particulelor din carbură de siliciu.

Şlefuirea se poate realiza manual sau mecanic. În cazul şlefuirii manuale, proba execută o mişcare de du-te-vino. În cazul şlefuirii mecanice, hârtia abrazivă este fixată pe discuri rotative.

Nu se trece la o altă hârtie abrazivă dacă nu au dispărut rizurile de la şlefuirea anterioară şi fără a spăla proba metalografică în jet de apă. De asemenea, se are în vedere ca proba respectivă să fie rotită astfel încât noile rizuri să formeze un unghi de 90^o cu rizurile anterioare.

În final, proba metalografică se spală în jet de apă pentru a îndepărta complet particulele abrazive care au aderat la suprafaţa pregătită pentru analiza macrostructurală.

A.a.II.6. Atacul chimic

Pentru analizele macroscopice uzuale prin metoda atacului cu săruri de cupru se utilizează reactivii din tabelul 2.

Lista reactivilor din tabelul 2 nu este exhaustivă. În final, se spală proba în jet de apă şi apoi în alcool.

Tabelul 2.

Denumirea reactivului	Compoziţia reactivului	Durata atacului
Oberhoffer	1 g clorură cuprică 30 g clorură ferică 0,5 g clorură stanoasă 50 ml acid clorhidric 500 ml apă	10 – 20min
Stead	5 g clorură cuprică 4 g clorură de magneziu 1 ml acid clorhidric 20 ml apă 100 ml alcool etilic	10 – 20 min
Le Chatelier Dupuy	1 g clorură cuprică 1,5 – 2,5 g acid clorhidric 0,5 g acid picric 10 ml apă 100 ml alcool etilic	5 s – 3 min
Fry 1	1,5 g clorură cuprică 30 ml acid clorhidric 95 ml apă 30 ml alcool etilic	30 s – 5 min
Fry 2	90 g clorură cuprică 12 ml acid clorhidric 100 ml apă	30 s – 5 min

A.a.III. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare metodei Baumann

A.a.III.3. Obținerea suprafeței plane

Obținerea suprafeței plane se realizează identic ca la aliniatul A.a.I.3.

A.a.III.4. Şlefuirea

Şlefuirea se execută identic ca la aliniatul Aa.II.4.

A.a.III.6. Atacul chimic

Dacă la celelalte două metode, descrise anterior, atacul chimic al suprafeței probei metalografice se realizează prin imersie sau, dacă este o suprafață de dimensiuni mari, cu ajutorul unei pensule, în cadrul metodei Baumann atacul chimic are loc prin presarea pe suprafața şlefuită a unei gârtii fotografice cu bromură de argint îmbibată cu o soluție de 3% acid sulfuric. Durata contactului este de aproximativ un minut, timp în care se are în vedere ca hârtia fotografică să nu gliseze pe suprafața şlefuită. De asemenea, contactul respectiv trebuie să nu permită prezența bulelor de aer. Ulteriro, se spală timp de 10 minute proba metalografică în jet de apă, după care ea este imersată într-o baie de soluție apoasă de 20% de tiosulfat de sodiu pe o durată de 10 min prin fixare şi, în final, proba respectivă trebuie să fie spălată timp de 2 h în jet de apă.

A.b. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice microscopice

Analiza metalografică microscopică se realizează, de cele mai multe ori, cu ajutorul:

-microscopului optic;
-microscopului electronic cu baleiaj;
-microscopului electronic cu transmisie.

A.b.I. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare analizei cu microscopul optic

A.b.I.3. Obținerea suprafeței plane

Obținerea suprafeței plane se realizează identic ca la aliniatul A.a.I.3.

A.b.I.4. Şlefuirea

Şlefuirea se execută identic ca la aliniatul Aa.II.4.

A.b.I.5. Lustruirea

În general, pentru lustruirea probei metalografice optice sunt utilizate următoarele metode:

-lustruirea cu suspensie de alumină;
-lustruirea cu pastă sau suspensie de diamante;

-lustruirea electrochimică.

A.b.I.5.1. Lustruirea cu suspensie de alumină

Această operație se realizează prin frecarea suprafeței probei metalografice de o pâslă îmbibată cu suspensie de alumină până ce suprafața respectivă devine lucioasă şi nu mai prezintă rizuri care ar putea jena efectuarea analzei metalografice respective. Suspensia de alumină poartă de numirea duratei de decantare. Prepararea suspensiei are loc astfel:

-se agită 2 l de apă care conține 100 g de alumină;

-se lasă spre decantare 1/4 h sau 1 h;

-se separă lichidul cu suspensie de depunerea corespunzătoare duratei de decantare.

Lichidul cu suspensia de alumină se numeşte alumină 1/4 h (după 1/4 decantare) sau alumină 1 h (după 1 h de decantare): Alumina 1/4 h este utilizată, în special, la lustruirea probelor metalografice din oțel şi fontă, iar alumina 1 h este utilizată pentru aliajele moi ca alamele şi bronzurile.

Lustruirea se poate face pe maşini cu discuri rotative cu ax orizontal sau vertical.

După lustruire, proba metalografică se spală în jet de apă şi se usucă prin tamponare.

A.b.I.5.2. Lustruirea cu pastă de diamant

Pasta cu diamant conține pudră de diamant ai cărei grăunți sunt acoperiți cu un liant care se dizolvă cu apă sau alcool. Dimensiunea medie a grăunților de diamant este cuprinsă între 0,25 şi 14 μm.

Cu ajutorul unui diluant, pasta de diamant se întinde pe pâsla discului rotativ. După lustruire, proba metalografică se spală în jet de apă şi se usucă în aer cald.

A.b.I.5.3. Lustruirea electrolitică

Lustruirea electrolitică se bazează pe electroliza cu anod solubil. Proba metalografică reprezintă anodul solubil iar electrolitul este, în general, pe bază de acid percloric.

Suprafața probei respective devine lucioasă numai în cazul metalelor pure sau a soluțiilor omogene din punct de vedere chimic.

Pentru ca lustruirea electrolitică să se desfăşoare în bune condiții, este necesar ca suprafața probei metalografice să fie orizontală, electrolitul să fie concentrat şi să nu fe deloc agitat.

A.b.I.6. Atacul chimic

Atacul chimic are loc, în general, la temperatura ambiantă. Reactivii utilizați acționează în diferite moduri:

-dizolvă preferențial sau în totalitate constituienții metalografici;

-colorează în mod diferit unii constituienți metalografici;

-depozitează cu viteză variabilă unele substanțe pe suprafața unor faze în funcție de orientarea grăunților respectivi;

-atacă preferențial limita grăunților respectivi.

O listă parțială a reactivilor mai des folosiți, la care durata atacului este orientativă, este prezentată în tabelul 3.

Tabelul 3.

Denumirea reactivului	Compoziția reactivului	Durata atacului chimic	Domeniul de utilizare a reactivului
Nital	2 – 5 g acid azotic 100 ml etanol	5 s – 1 min	Analiza microscopică a structurii oțelurilor aliate şi nealiate
Picral	4 g acid picric (cristalizat) 100 ml alcool	15 – 40 s	Analiza microscopică a structurii oțelurilor aliate şi nealiate
Murakami	10 g ferocianură de potasiu 10 g hidroxid de sodiu 100 ml apă	30 s – 5 min	Punerea în evidență a carburilor în oțelurile inoxidabile
Vilella	1 g acid picric 5 ml acid clorhidric 100 ml etanol	30 s – 2 min	Analiza microscopică a structurii oțelurilor inoxidabile şi refractare
Apă regală glicerinizată	20% acid azotic 40% acid clorhidric 40% glicerină	30 s – 5 min	Analiza microscopică a structurii oțelurilor inoxidabile, refractare oțeluri cu crom, aliaje ale fierului cu cromul
Robin Gartner	99,5 – 95% soluție saturată de acid picric 0,5 – 5% alcalinisulfonat de sodiu	30 s – 2 min	Punerea în evidență a grăunților de austenită de la oțelurile călite şi revenite, precum şi a cementitei la oțelurile extramoi
Le Chtelier Igoski	2 g acid picric (cristalizat) 25 g hidroxid de sodiu 100 ml apă	3 s – 10 min la temperatura de fierbere	Punerea în evidență prin colorarea cementitei sau a carburilor la oțelurile nealiate

Pentru a se întrerupe atacul chimic, se spală în jet de apă proba metalografică după care se usucă în curent de aer.

A.b.I.7. Atacul electrochimic

În prezent, pe plan mondial este utilizată o variantă a atacului chimic şi anume atacul electrochimic, care are un parametru tehnologic suplimentar: curba intensitate – potențial electric.

Instala ția utilizată este aceeaşi ca şi la lustruirea electrochimică şi urmăreşet aceeaşi curbă intensitate – potențial.

Reactivii atacului electrolitic sunt prezentați în tabelul m4 fără a epuiza lista completă.

Tabelul 4.

Denumirea reactivului	Compoziția reactivului	Durata atacului electrochimic	Domeniul de utilizare
Soluție apoasă de acid oxalic	100 g de acid oxalic 100 ml apă	10 – 45 s la o tensiune de 6 V cu catod de oțel inoxidabil	Analiza microscopică a structurii oțelurilor inoxidabile
Soluție apoasă de 10% acid azotic	100 ml de soluție apoasă de 10% de acid azotic 5 ml de acid acetic	25 s la o tensiune de 2 V cu catod de oțel inoxidabil	Analiza microscopică a structurii oțelurilor şi aliajelor care conțin foarte mult nichel
Soluție apoasă de acid cromic	10% anhidridă cromică	15 s – 2 min	Punerea în evidență a structurii şi a limitelor de grăunți la oțelurile inoxidabile supracălite

Întreruperea atacului electrochimic se realizează prin scoaterea probei metalografice din instalație şi spălarea în jet de apă, urmată de o uscare în jet de aer.

A.b.II. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare analizei cu microscopul electronic cu baleiaj (M.E.B.)

Aceste operații sunt următoarele:
-obținerea suprafețelor plane;
-şlefuirea;
-lustruirea;
-atacul chimic sau electrochimic.
Tehnica operatorie este identică cu aceea descrisă în paragraful A.b.I.

A.b.III. Operații specifice pentru pregătirea probelor metalografice macroscopice necesare analizei cu microscopul electronic cu transmisie (M.E.T.)

Probele trebuie să fiw foarte înguste pentru a putea fi străbătute de fascicolul de electroni cu diametrul extrem de mic (de exemplu, 50 nm pentru fier şi de 200 nm pentru aluminiu). De semenea, ele trebuie să aibă dimensiuni reduse, sub formă de discuri cu diametrul de 2 – 3 mm. Aceste probe trebuie să nu se distrugă în vid sub acțiunea fascicolului de electroni, să nu se ionizeze sau să se încarce.

Probele metalografice sunt următoarele:
-replici.
-directe (din carbon, aur etc.);
-indirecte (din colodiu);

-lamele subțiri (folii).

Deoarece operațiile suplimentare pentru pregătirea probelor metalografice necesare analizei cu microscopul electronic cu transmisie (M.E.T.) sunt mult mai diferite de cele descrise anterior pentru analiza microscopică; ele nu sunt descrise în această lucrare.

B. Modul de lucru

Se procedează la obținerea probelor metalografice pentru analiza macroscopică şi a unei probe pentru analiza microscopică.

Modul de lucru este cel descris în cap.A. Pentru fiecare probă se alege reactivul în funcție de materialul respectiv, conform tabelelor 2, 3 şi 4 sau conform standardului în vigoare.

Pe parcursul lucrării se are în cedere respectarea normelor şi regulilor de protecția muncii.

LUCRAREA DE LABORATOR NR.2
ANALIZA MACROSCOPICĂ A MATERIALELOR METALICE

A. Noțiuni introductive

Analiza macroscopică cercetează structura materialelor metalice cu ochiul liber, cu lupa sau cu diverse mijloace optice, care au un grosisment inferior valorii de 100.

În funcție de starea suprafeței studiate, analiza macroscopică poate fi:

-analiză macrosopică pe suprafațe:
  -nepregătite:
    -de turnare;
    -de condensare;
    -de depunere electrolitică;
  -pregătite prin metoda:
    -atacului cu acizi minerali puternici;
    -atacului cu săruri de cupru (la produsele soderurgice);
    -amprentei Baumann (la produsele siderurgice);
-analiza macroscopică pe suprafețe de rupere:
  -cu fisurare:
    -rapidă:
      -fragilă;
      -ductilă;
    -progresivă sub solicitare:
      -statică:
        -la coroziune sub tensiune;
        -la fluaj;
      -ciclică la oboseală:
        -mecanică;
        -termică.

A.1. Analiza macrografică

A.1.1. Analiza suprafețelor nepregătite

Analiza macrografică pe suprafețe nepregătite, așa cum rezultă din turnare, condensare sau depunere electrolitică, relevă creșterea preferențială, pe unele plane cristalografice a cristalelor, care capătă o formă dendritică.

În fig.1 se observă dendrite pe suprafețele solidificate ale plumbului.

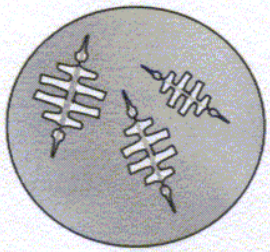


Fig.1
Dendrite pe suprafața plumbului

A.1.2. Analiza suprafețelor pregătite

Modul se obținere a suprafețelor pregătite a fost descris în lucrarea de laborator nr. 1.

Prin această analiză se pot pune în evidență următoarele aspecte ale structurii:

-neomogenități chimice:
  -segregații în:
    -semifabricate;
    -lingouri:
      -în ^ ;
      -în v ;
      -pozitivă în apropierea capului;
      -negativă la picior;
  -prezența incluziunilor;
-neomogenități fizice:
  -fisuri;
  -porozități;
  -sufluri;
-neomogenități de repartiție a constituienților metalografici:
  -după călirea volumică a pieselor mari;
  -după călirea superficială;
  -după decarburare;
  -după tratamente termochimice;
-zone structurale la:
  -lingouri:
    -zona globulitică;
    -zona de transcristalizare;
    -zona influențată termic;
    -conul de picior;
  -îmbinări sudate cu contact:
    -solid – lichid:
      -cusătura;
      -zona de trecere;
      -zona influențată termic;
      -metalul de bază;
    -solid – solid:
      -zona de legătură;
      -zona influențată termic (uneori lipseşte);
      -metalul de bază.

În cazul metodei amprentei Baumann, segregația observată se referă la aceea a sulfului. Prezența acestui element duce la formarea pe hârtia fotografică a sulfurii de argint, care are o culoare brun – închisă.

A.2. Analiza macrofractografică

A.2.1. Analiza macrofractografică suprafețelor de rupere cu fisurare rapidă

Ruperea cu fisurare rapidă se poate clasifica după deformația plastică ce o precede:

-ruperea fragilă, care nu este precedată de deformații plastice vizibile (macroscopice);

-ruperea ductilă, care este precedată de deformații plastice vizibile.

Ruperea fragilă, la analiza macrofractografică, are un aspect cristalin-strălucitor, iar ruperea ductilă se caracterizează printr-un aspect mat-fibros, așa cum este prezentată schematic în fig.2, respectiv, în fig.1.

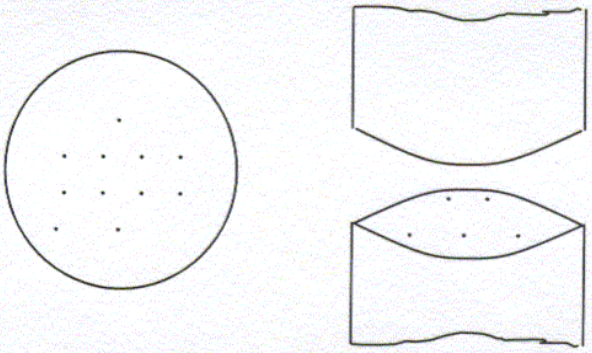


Fig. 2

Reprezentarea scematică a ruperii fragile

a. suprafața de rupere; b. epruvetă în urma încercării de rupere la tracțiune

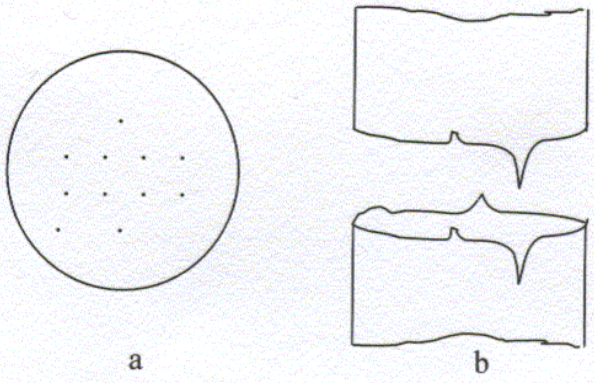


Fig. 3

Reprezentarea scematică a ruperii ductile

a. suprafața de rupere; b. epruvetă în urma încercării de rupere la tracțiune

A.2.2. Analiza macrofractografică a suprafețelor de rupere cu fisurare progresivă

Ruperea cu fisurare progresivă prin oboseală mecanică se produce în trei etape:

-etapa de amorsare;

-etapa de propagare lentă;

-etapa rupturii finale.

Celor trei etape le corespund trei zone, dar la analiza macrofratografică apar distinct numai două zone:

-zona de propagare lentă;

-zona ruperii finale, care poate fi:

-fragilă (fig.4);

-ductilă (fig.5).

Zona de propagare lentă este netedă, iar zona ruperii finale poate avea aspect critalin-strălucitor sau mat-fibros, după cum materialul este fragil sau ductil.

Ruperea prin fisurare progresivă sub solicitare statică şi la oboseală termică sunt cazuri mai rar întâlnite şi nu fac obiectul studiului prezentei lucrări de laborator.

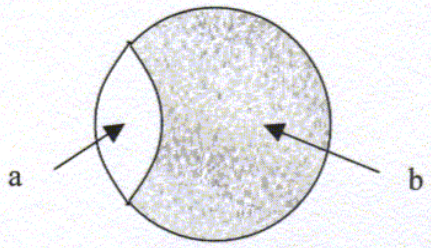


Fig. 4
Reprezentare schematică a ruperii fragile la oboseală
a. zona de propagare lentă; b. zona ruperii finale.

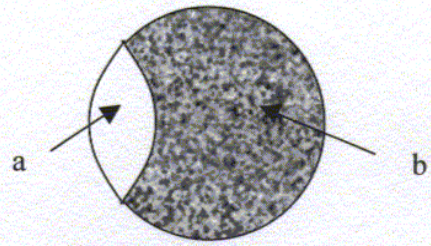


Fig. 5
Reprezentare schematică a ruperii ductile la oboseală
a. zona de propagare lentă; b. zona ruperii finale.

B. Modul de lucru

Se analizează macroscopic materialele metalice afectate acestei lucrări de laborator şi se desenează schematic într-un cerc cu diamterul de 30 mm porţiunea reprezentativă de pe suprafaţa fiecărui material utilizat.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecţia muncii în vigoare.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 3
STUDIUL MICROSCOPIC AL OȚELURILOR LA ECHILIBRU

A. Noțiuni introductive

A.1.1. Diagrama fier - cementită

Polimorfismul fierului este proprietatea care face ca aliajele sale să constituie pricipalul material metalic produs până la orizontul anilor 2050.

Curba de solidificare a fierului prezintă paliere la temperaturile (Fig. 1):

-1538 ^{0} C, la trecerea din starea lichidă în Fe_α (numit şi Fe_δ);

-1394 ^{0} C (temperatura Ae_4), la trecerea din Fe_α în Fe_γ;

-912 ^{0} C (temperatura Ae_3), la trecerea din Fe_γ în Fe_α;

-768 ^{0} C (temperatura Ae_2, numită şi punctul Curie), la trecerea din starea paramagnetică în starea magnetică.

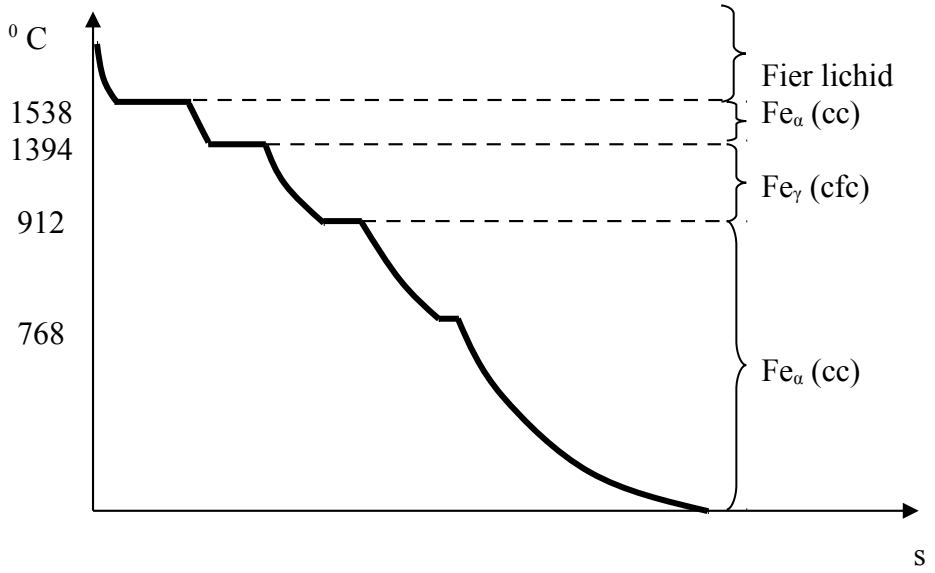


Fig. 1
Curba de solidificare a fierului

Temperaturile de transformare sunt notate prin litere şi cifre astfel:

-litera **A** (arrêt);

-una din literele **r** (fr: refroidissement), **c** (fr: chauffage) sau **e** (fr: équilibre) în cazul răcirii, încălzirii sau, respectiv; la echilibru;

-cifrele **0, 1, 2, 3, 4** care definesc diferite tipuri de transformare:

-0: transformarea magnetică a cementitei (F_3C);

-1: transformarea eutectoidă;

-2: punctul Curie;

-3: transformarea Fe_γ în Fe_α şi invers;

-4: transformarea Fe_γ în Fe_α (numit şi Fe_δ) şi invers.

Evoluția sistemului de aliaje binare Fe-C este descrisă de două diagrame:

-de echilibru metastabil, la care faza bogată în carbon este cementita (F_3C);

-de echilibru stabil, la care faza bogată în carbon este grafitul (Cg).

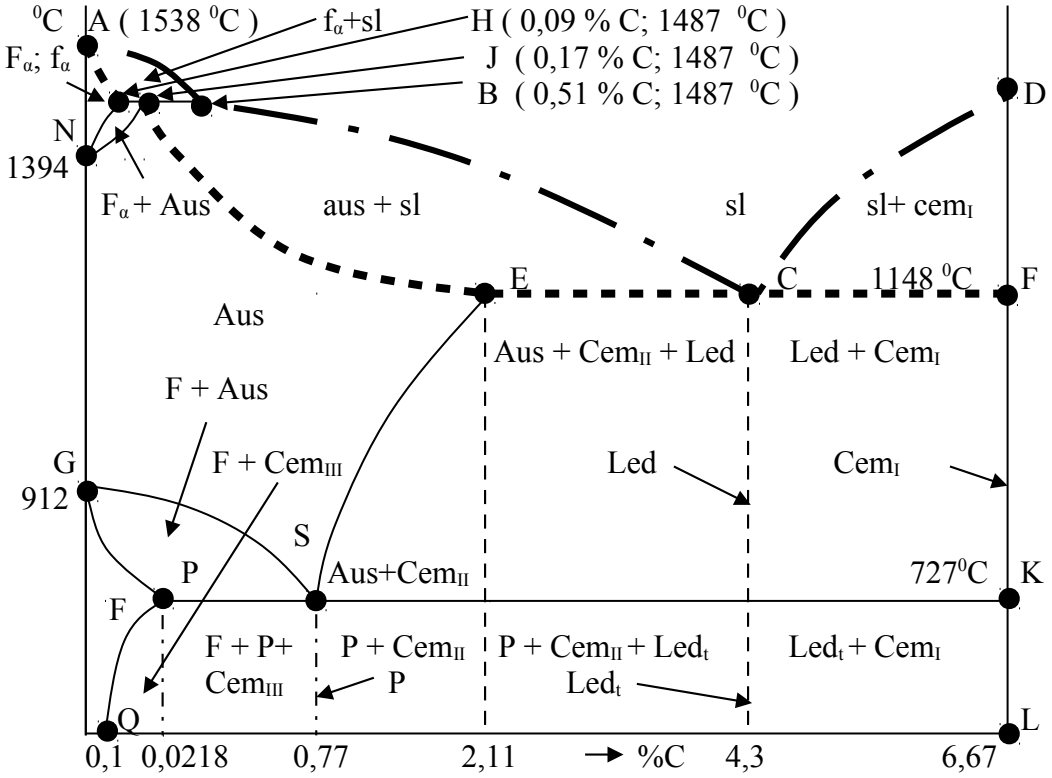


Fig.2

Diagrama fier - cementită

sl-soluție lichidă; F_α – ferită (constituent metalografic); f_α – ferită (fază);

Aus-austenită (constituent metalografic); aus-austenită (fază);

F-ferită; P-perlită (constituent metalografic);

Cem_I-cementită primară (constituent metalografic);

Cem_{II}-cementită secundară (constituent metalografic);

Cem_{III}- cementită terțiară (constituent metalografic);

Led-ledeburită netransformată (constituent metalografic);

Led_t- ledeburită transformată (constituent metalografic).

Aceste două tipuri de evoluție nu se produc simultan.

Diagrama de echilibru metastabil (fig. 2) se mai numeşte şi diagrama Fe- F_3C, deoarece este limitată în stânga, respectiv, în dreapta, de fier şi de cementită.

În diagramă sunt menționate:

-numai fazele deasupra liniei lichidus;

-constituenții metalografici sub linia solidus.

Diagrama de echilibru metastabil descrie transformările oțelurilor şi fontelor albe.

A.II. Definirea şi clasificarea oțelurilor

Oțelurile sunt aliaje ale fierului la care conținutul de carbon nu depăşeşte 2,11 % (limita practică este cuprinsă între 1,4 şi 1,5 %) şi care mai conțin elemente însoțitoare permanente (Mn, Si, P, S), inerente procesului de elaborare. Ele constituie principala grupă de materiale folosite în industrie până la nivelul orizontului 2050.

Clasificarea oțelurilor se poate face după următoarele criterii:

-după agregatul de elaborare:

-oțeluri Martin;

-oțeluri de convertizor;

-oțeluri de cuptor electric etc.;

-după gradul de dezoxidare:

-oțeluri necalmate;

-oțeluri semicalmate;

-oțeluri calmate;

-după compoziția chimică:

-oțeluri nealiate:

-oțeluri nealiate de uz general;

-oțeluri nealiate de calitate;

-oțeluri nealiate speciale;

-oțeluri aliate:

-oțeluri aliate de calitate;

-oțeluri aliate speciale.

Definirea şi clasificarea mărcilor de oțel este dată de Standardul Român SR EN 10020:1994,

Oțelurile nealiate sunt acele oțeluri la care nu se atinge nici una dintre valorile limită din tabelul 1, în caz contrar ele sunt oțeluri aliate.

Tabelul 1

Elementul prescris	Valoarea limită (% de masă)
Al Aluminiu	0,10
B Bor	0,008
Bi Bismut	0,10
Co Cobalt	0,10
Cr Crom	0,30
Cu Cupru	0,40
La Lantanide (fiecare)	0,05
Mn Mangan	1,65
Mo Molibden	0,08
Nb Niobiu	0,06
Ni Nichel	0,30
Pb Plumb	0,40
Se Seleniu	0,10
Si Siliciu	0,50
Te Telur	0,10
Ti Titan	0,05
V Vanadiu	0,10
W Wolfram	0,10
Zr Zirconiu	0,05
Altele (cu excepția C, P, S, N) (fiecare)	0,05

Clasele de calitate principale ale oțelurilor nealiate sunt următoarele:

-oțeluri nealiate de uz general;

-oțeluri nealiate de calitate;

-oțeluri nealiate speciale.

Oţelurile nealiate sunt acele oţeluri la care nu se atinge nici una dintre valorile limită din tabelul 1, în caz contrar ele sunt oţeluri aliate.

Clasele de calitate principale ale oţelurilor nealiate sunt următoarele:

-oţeluri nealiate de uz general;

-oţeluri nealiate de calitate;

-oţeluri nealiate speciale.

Oţelurile nealiate de uz general sunt oţelurile produse prin procedee de elaborare obişnuite şi care nu necesită o tehnologie de fabricaţie specială. Aceste oţeluri îndeplinesc următoarele patru condiţii:

-nu necesită tratament termic (în SR EN 10020:1994 recoacerea sau normalizarea nu sunt privite ca tratamente termice);

-caracteristicile prescrise în standardul său sau în specificaţia de produs pentru produsele livrate în stare de laminare sau normalizată, corespund valorilor limită din tabelul 2;

-nu se prescrie nici o altă condiţie de calitate, de exemplu capacitatea de tragere la rece, trefilare, formare la rece, etc;

-nu sunt impuse condiţii particulare pentru nici un element de aliere, cu excepţia manganului şi a siliciului.

Tabelul 2

Caracteristica prescrisă	Grosime (mm)	Încercare în conformitate cu EN	Valoarea limită
Rezistenţa la rupere minimă	≤16	2 sau 11	≤690N/m^2
Limita la curgere minimă	≤16	2 sau 11	≤360 N/m^2
Alungirea la rupere minimă	≤16	2 sau 11	≤26%
Valoarea minimă a energiei de rupere la 20^{0}C, pe epruvete ISO cu crestătură în V, prelevate longitudinal	≥10≤16	45	27J
Conţinutul de carbon maxim			≥0,10%
Conţinutul de fosfor maxim			≤0,045%
Conţinutul de sulf maxim			≤0,045%

Oţelurile nealiate de calitate sunt oţeluri care nu au impuse condiţii pentru o comportare precizată la tratament termic sau pentru puritate în ceea ce priveşte incluziunile nemetalice. Ca urmare a condiţiilor în care sunt utilizate, prescripţiile privind calitatea acestora sunt mai severe decât cele ale oţelurilor de uz general astfel încât, în timpul fabricării acestor oţeluri este necesară o atenţie specială. Oţelurile nealiate de calitate sunt oţeluri nealiate, altele decât oţelurile nealiate de uz general şi oţelurile nealiate speciale.

Oţelurile nealiate speciale au o puritate superioară oţelurilor nealiate de calitate, în special în privinţa incluziunilor nemetalice. În majoritatea cazurilor, aceste oţeluri sunt destinate tratamentului termic de călire-revenire sau durificării superficiale şi se caracterizează printr-o comportare precizată la astfel de tratamente. Caracteristicile superioare ale acestor oţeluri, care satisfac cu exactitate prescripţiile, sunt asigurate prin verificarea riguroasă a compoziţiei chimice, atenţie specială în fabricaţie şi controlul procesului. Aceste caracteristici includ limita de curgere şi călibilitatea, asociate uneori cu capacitatea de formare la rece, sudabilitatea sau tenacitatea.

Oţelurile nealiate speciale satisfac una sau mai multe dintre următoarele condiţii:

-energia de rupere prescrisă în stare călită şi revenită;

-adâncimea de călire sau duritatea superficială prescrisă în stare călită, călită şi revenită sau călită superficial;

-conţinuturi scăzute de incluziuni nemetalice;

-conţinuturi maxime de 0,025% de fosfor şi de sulf pe produs;

-energia de rupere mai mare de 27 J la -50^0C pe epruvete ISO cu crestătura în V, prelevate longitudinal;

-oţeluri pentru reactivi nucleari, cu restricţii pentru următoarele elemente specificate simultan, la analiza chimică pe produs: max 0,10% Cu, max. 0,05% Co, max. 0,05 %V;

-oţeluri pentru durificare prin precipitare cu conţinut de carbon de min. 0,25%, la analiza chimică pe oţel lichid şi o microstructură ferito-perlitică, conţinând unul sau mai multe elemente de microaliere (de exemplu niobiu, vanadiu), cu concentraţii inferioare valorilor limită pentru oţeluri aliate. În general, durificarea prin precipitare se realizează prin răcire controlată de la temperatura de deformare la cald.

Clasele de calitate principale ale oţelurilor aliate sunt următoarele:

-oţeluri aliate de calitate;

-oţeluri aliate speciale.

Oţelurile aliate de calitate sunt utilizate în aplicaţii similare celor ale oţelurilor nealiate de calitate, dar realizarea caracteristicilor prescrise necesită adaosul de elemente de aliere peste valorile limită din tabelul 1. În general, oţelurile aliatede calitate nu sunt destinate tratamentului termic de călire-revenire sau de călire superficială.

Aceste oţeluri se pot clasifica astfel:

-oţeluri de construcţie cu granulaţie fină sudabile, incluzând oţelurile pentru recipiente sub presiune, altele decât oţelurile aliate pentru produsele plate laminate la rece sau la cald şi care satisfac toate condiţiile următoare:

-limita de curgere minimă prescrisă mai mică de 380 N/mm^2 pentru grosimi de max.16 mm;

-valori prescrise ale energiei la rupere de min. 27 J la -50 ^{0}C, pe epruvete ISO cu crestătură în V, prelevate longitudinal;

-oţeluri pentru electrotehnică conţinând ca elemente de aliere siliciu sau siliciu şi aluminiu, în scopul satisfacerii prescripţiilor referitoare la pierderile magnetice sau la valori minime pentru inducţia magnetică, polarizare sau permeabilitate;

-oţeluri aliate pentru şine, pentru palplanşe , pentru armături de mină;

-oţeluri aliate pentru produse plate laminate la rece sau la cald pentru utilizări la care intervin deformări la rece severe, altele decăt oţelurile pentru recipientele sub presiune şi ţevi(vezi mai sus), care conţin elemente chimice de finisare a granulaţiei, precum borul, niobul, titanul şi/sau zirconiul, precum şi oţelurile bifazice(care au o structură preponderent feritică, cu 10 până la 35% martensită în formaţiuni mici uniform dispersate);

-oţeluri aliate la care singurul element de aliere prescris este cuprul.

Oţelurile aliate speciale sunt caracterizate prin verificarea riguroasă a compoziţiei chimice prin condiţii speciale de fabricaţie şi de control, care să asigure caracteristici superioare în limite înguste de control. Aceste oţeluri se clasifică astfel:

-oţeluri inoxidabile, care conţin maxim 1,2% carbon, minim 10,5% crom şi care se împart în două categorii în funcţie de conţinutul de nichel:

-Ni$<$ 2,5 %;

-Ni$\geq$ 2,5%;

-oţeluri rapide, care conţin, pe lângă alte elemente, cel puţin două dintre următoarele trei elemente: molibden, wolfram, vanadiu, în conţinut însumat de min. 0,6% carbon şi până la 6% crom;

-alte oţeluri aliate speciale.

A.III. Structura oţelurilor recoapte

A.III.1 Structura oţelurilor nealiate recoapte

Formarea structurii oţelurilor nealiate recoapte se explică prin referire la diagrama de echilibru al fazelor Fe-Fe_3C şi, cu totul excepţional, la diagrama de echilibru al fazelor Fe-grafit.

Fazele principale ale oţelurilor nealiate recoapte sunt ferita (ferita α), ferita δ, austenita şi cementita.

Ferita (ferita α) este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier α. Solubilitatea maximă a carbonului este de 0,0218% la 727^0C. Reţeaua cristalină a feritei este cubică cu volum centrat.

Ferita δ este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier δ. Solubilitatea maximă a carbonului este de 0,09% la 1495^0C. Reţeaua cristalină a feritei este cubică cu volum centrat.

Austenita este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier γ. Solubilitatea maximă a carbonului este de 2,11 la 1148^0C. Reţeaua cristalină a austenitei este cubică cu feţe centrate.

Cementita (Fe_3C) este un compus interstiţial cu reţea ortorombică ce corespunde unui conţinut de 6,67% de carbon. Este o carbură metastabilă şi are tendinţa de a se descompune în condiţii speciale, conform reacţiei:

$$Fe_3C \longrightarrow 3\,Fe + C_g\ (grafit) \qquad (1)$$

Cementita poate fi primară, secundară sau terţiară, după ordinea apariţiei la răcire.

Constituenţii metalografici principali ai oţelurilor nealiate recoapte sunt ferita (ferita α), ferita δ, austenita, cementita şi perlita..

Perlita este un agregat eutectoid obţinut prin transformarea izotermă la 727^0C a astenitei, conform relaţiei:

$$As\ (\text{austenita}) \underset{}{\overset{727^{0C}}{\rightleftarrows}} \underbrace{F\alpha_P\ (\text{ferita } \alpha) + Cem_{II}\ (\text{cementita secundară})}_{P\ (\text{perlita})} \qquad (2)$$

Conţinutul procentual de masă a celor două faze componente ale perlitei se poate calcula astfel:

$$\%F = \frac{masa\ feritei}{masa\ perlitei}100 = \frac{6{,}67-0{,}77}{6{,}67-0{,}0218}100 = 89\%$$
$$\%Cem_{II} = \frac{masa\ cementitei}{masa\ perlitei}100 = \frac{0{,}77-0{,}0218}{6{,}67-0{,}0218}100 = 11\% \qquad (3)$$

În general, perlita este formată din lamele alternante de ferită şi cementită. Cementita apare prin difuzie la limitele grăunţilor de austenită, fără a avea relaţie cristalografică cu faza din care s-a format. Prin tratament termic direct sau plecând de la perlita lamelară, se poate obţine perlită globulară, formată din cementită globulară într-o matrice feritică.

Unele caracteristici mecanice ale celor trei constituenți metalografici sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Constituentul metalografic	R_m (daN/mm^2)	Ar (%)	H (HB)
Ferită	30	40	80
Cementită	4	0	800
Perlită	55-110	25-10	185-250

Parametrii microstructurali principali, care influențează caracteristicile mecanice ale oțelurilor ferito-perlitice, sunt mărimea grăunților de ferită (d) şi distanța interlamelară la perlită (Δ). Datorită schimbării raportului dintre masa feritei şi a perlitei, primul parametru este preponderent până la un conținut de 0,4-0,5% C, iar al doilea pentru conținuturi superioare.

Influența celor doi parametri microstructurali asupra limitei elastice (R_e) şi a temperaturii de tranziție fragil-ductil ($TK_{3,5}$) este redată în tabelul 4.

Tabelul 4

Parametrul microstructural	R_e	$TK_{3,5}$
d ↘	↗	↘
Δ ↘	↗	↘

Structura oțelurilor nealiate recoapte la temperatura ambiantă este dată în tabelul 5.

Tabelul 5

Conținutul de carbon	Structura (constituienți metalografici)
0 < %C < 0,001	ferită primară (proeutectoidă)
0,001 < %C < 0,021	ferită primară (proeutectoidă) + cementită terțiară
0,021< %C < 0,77	ferită primară (proeutectoidă) + cementită terțiară + perlită
%C = 0,77	perlită
0,77 < %C < 2,11	perlită + cementită secundară (proeutectoidă)

Influența cementitei terțiare, prezentă în oțelurile nealiate cu conținut de carbon cuprins între 0,0218 şi 0,77 %, este atât de insignifiantă încât se neglijează prezența ei în diagramele de echilibru termodinamic al fazelor.

A.III.2. Structura oțelurilor aliate recoapte

Prin apariția oțelurilor aliate s-a ameliorat călibilitatea (în cazul oțelurilor de îmbunătățire), a fost extins domeniul temperaturilor de utilizare până la valori extreme (în cazul oțelurilor refractare, criogenice) şi s-a permis utilizarea lor în medii agresive (în cazul oțelurilor inoxidabile).

Influența elementelor de aliere asupra structurii la echilibru şi a transformărilor, se manifestă, în special, pe trei direcții:

- modificări ale transformărilor eutectice şi eutectoide (mecanism, temperatură, concentrație);
- modificări ale suprafeței domeniilor de existență ale feritei sau austenitei (elemente alfagene sau gamagene);
- modificări ale naturii carburilor în echilibru (elemente carburigene sau necarburigene).

Cele mai simple oțeluri aliate sunt aliaje ternare, a căror diagramă de echilibru termodinamic al fazelor este foarte dificil de realizat. În astfel de cazuri, pentru studiul structurii se utilizează secțiuni ternare izoterme sau, de cele mai multe ori, secțiuni pseudobinare, la care conținutul unui component este constant.

În cazul aliajelor complexe, cu mai mult de un element de aliere, nu există diagrame de echilibru termodinamic al fazelor. Totuşi, prin gruparea elementelor de aliere cu influență identică se pot realiza diagrame mai simple pentru aproximarea structurii unor anumite oțeluri.

Influența elementelor de aliere asupra domeniului austenitic se poate aproxima prin proiectarea unei secțiuni pseudobinare asupra planului Fe-C.

Astfel de proiecții s-au realizat pentru diferite elemente gamagene (Mn, Ni) sau alfagene (Cr, Si, Mo). Aceste secțiuni pseudobinare proiectate pe planul Fe-C sunt instrumente deosebit de utile pentru studiul:

- oțelurilor care urmează să fie supuse unui tratament termic de călire, care implică o încălzire în domeniul austenitic;
- oțelurile inoxidabile monofazice feritice sau austenitice.

Un alt aspect important al structurii oțelurilor aliate este prezența carburilor aliate. Elemente de aliere (Ea) ca de exemplu manganul, cromul, molibdenul, wolframul, vanadiul, titanul şi niobiul sunt carburigene, iar siliciul, aluminiul, cuprul, nichelul şi cobaltul nu sunt carburigene.

Carburile aliate se pot clasifica în două tipuri:

- cementite aliate, cu formula $(FeEa)_3C$ păstrând rețeaua cristalină ortorombică a cementitei;
- carburi speciale, cu formula $(FeEa)_mC_n$ de diferite tipuri ($Ea_{23}C_6$; Ea_6C; Ea_2C; Ea_7C_3; EaC etc.)

Manganul formează numai cementite aliate. Cromul, molibdenul si wolframul formează atât cementite aliate cât şi carburi. Vanadiul, titanul, niobiul, zirconiul formează cu precădere carburi speciale.

Influența elementelor de aliere asupra caracteristicilor mecanice ale oțelurilor aliate recoapte depinde de raportul lor de repartiție între carburi şi ferită la temperatura ambiantă (Ea_C / Ea_F). Astfel, dacă fosforul, siliciul, aluminiul, cuprul, nichelul şi cobaltul au un raport de repartiție nul, celelalte elemente au acest raport tot mai mare, în funcție directă cu afinitatea lor față de carbon.

Prezența elementelor de aliere solubile în ferită influențează pe mai multe planuri comportamentul oțelurilor aliate recoapte. În primul rând, punerea în soluție a elementelor de aliere are ca efect o creştere a limitei elastice (R_e) şi a temperaturii de tranziție fragil-ductil ($TK_{3,5}$). În al doilea rând, elementele gamagene coborând punctul critic A_3 conduc la o micşorare a mărimii grăuntelui de ferită, îmbunătățind limita elastică şi reziliența, iar elementele alfagene având efect invers.

În al treilea rând, elementele de aliere formând carburi fragile la limitele grăunților cristalini fragilizează oțelul.

În acelaşi timp, este de menționat faptul că anumite elemente chimice, cum este manganul, diminuează susceptibilitatea la fragilizare în urma deformării plastice la rece (ecruisarea). Această influență se datorează faptului că manganul, micşorând solubilitatea azotului la temperatura de 585 ^{0}C de la 0,1 % la 0,05 % şi a carbonului la temperatura de 727 ^{0}C de la 0,0218 % la 0,001 %, provoacă un consum deosebit de important de carbon şi de azot sub formă de carburi, respectiv sub formă de nitruri ce se depun la limita grăunților cristalini ai fazei mamă încă din timpul solidificării, astfel că, pe parcursul deformării plastice, probabilitatea formării de carburi şi nitruri în jurul inimei dislocației este mult mai mică, iar blocarea dislocației şi, implicit, ecruisarea sunt diminuate.

Spre deosebire de cazul feritei, prezența elementelor de aliere nu are o influență atât de variată asupra carburilor. Este de menționat doar faptul că elementele de aliere gamagene, coborând temperatura transformării eutectoide, permit o diminuare a grosimii lamelelor de cementită aliată din perlită şi, în consecință, o îmbunătățire a limitei elastice.

Elementele gamagene nichel, mangan şi carbon au o influență pozitivă asupra rezistenței mecanice, dar micşorează sudabilitatea. Atunci când sudabilitatea este importantă, se poate mări rezistența mecanică prin microalierea cu niobiu, titan şi vanadiu, care formează carburi foarte fine şi dispersate. Aceste carburi devin obstacole atât de importante în calea deplasării dislocațiilor pe parcursul deformării plastice, încât se poate micşora conținutul de carbon în oțelurile respective, aşa cum este cazul oțelurilor microaliate cu dispersoizi.

A.IV. Simbolizarea oțelurilor

Sistemele de simbolizare pentru oțeluri sunt următoarele:

-simbolizarea numerică

-simbolizarea alfanumerică:

- grupa 1 (în funcție de utilizare şi caracteristici mecanice sau fizice)
- grupa 2 (în funcție de compoziția chimică)

Simbolizarea numerică a oțelurilor este dată de Standardul Român SR EN 10027-2:96.

Structura simbolizărilor numerice este următoarea:

1 XX XX(XX)

în care: 1 este numărul grupei de material (1 = oțel, cifrele de la 2 la 9 pot fi alocate altor materiale);

XX este numărul grupei de oțel

XX(XX) este numărul de ordine(cifrele indicate între paranteze sunt rezervate pentru o eventuală viitoare extindere).

Simbolizarea alfanumerică este dată de Standardul Român SR EN 10027-1:96 şi, pentru grupa 1, cuprinde:

a) unul dintre simbolurile principale:

S = oțeluri de construcție (inclusiv oțelurile cu granulație fină);

P = oțeluri pentru recipiente sub presiune;

L = oțeluri pentru țevi de conducte;

E = oțeluri pentru construcții mecanice;

urmat de un număr care reprezintă valoarea minimă specifică a limitei de curgere(se referă la limita de curgere convenționată superioară R_eH sau inferioară R_eL sau limita de curgere convențională R_p sau limita de extensie convențională R_t conform condițiilor cuprinse în standardul corespunzător de produs) în N/mm^2;

b) simbolul B = oțeluri pentru beton armat, urmat de un număr care reprezintă valoarea caracteristică a limitei de curgere (vezi mai sus) în N/mm^2;

c)simbolul Y = oțeluri pentru beton precomprimat, urmat de un număr care reprezintă valoarea minimă specifică a rezistenței la tracțiune, în N/mm^2.

d) simbolul R = oțeluri pentru sau sub formă de şine, urmat de un număr care reprezintă valoarea minimă specificată a rezistenței la tracțiune, în N/mm^2;

e) simbolul H = produse plate laminate la rece din oțeluri cu rezistență ridicată pentru ambutisare la rece, urmat de un număr care reprezintă valoarea minimă specificată a limitei de curgere în N/mm^2 sau, atunci când este precizată numai rezistența la tracțiune, litera T urmată de un număr care reprezintă rezistența minimă specifică în N/mm^2 ;

f) simbolul D = produse plate pentru formare la rece (cu excepția celor de la pct. e), urmat de una din următoarele litere:

1) C, pentru produse laminate la rece;
2) D, pentru produse laminate la cald pentru formarea la rece;
3) X, pentru produse a căror stare de laminare nu este indicată

şi prin două simboluri care caracterizează oțelul şi sunt atribuite de către organismul responsabil;

g) simbolul T= tablă neagră, tablă stanată, tablă cromată (oțeluri pentru ambalaje) urmat de:

1) pentru produsele simple laminate: litera H, urmată de un număr care reprezintă valoarea medie specificată a durității Rockwell HR 30Tm;

2) pentru produsele dublu laminate: un număr care reprezintă valoarea nominală specificată a limitei de curgere în N/mm^2 ;

f) simbolul M= oțeluri pentru electrotehnică urmat de:

1) un număr reprezintă de 100 ori pierderile totale specifice, exprimate în W/kg, corespunzătoare grosimii nominale a produsului, pentru o inducție magnetică la 50 Hz de :

α) 1,5 Tesla, pentru oțeluri semiprocesate, oțeluri cu grăunți neorientați , oțeluri cu grăunți orientați obişnuiți;

β) 1,7 Tesla, pentru oțeluri electrotehnice cu grăunți orientați cu pierderi reduse sau cu permeabilitate ridicată;

2) un număr care reprezintă de 100 de ori grosimea nominală a produsului în mm;

3) şi o literă care precizează tipul oțelului electrotehnic:

A, pentru table cu grăunți neorientați;
D, pentru table semiprocesate de oțel nealiat (fără recoacere finală);
E, pentru table semiprocesate de oțel aliat (fără recoacere finală);
N, pentru table cu grăunți orientați;
S, pentru table cu grăunți orientați cu pierderi reduse;
P, pentru table cu grăunți orientați cu permeabilitate ridicată;

Simbolizarea alfanumerică pentru grupa 2 este dată de acelaşi Standard Român SR EN 10027-1:1996.

Pentru oţelurile nealiate (cu excepţia oţelurilor pentru automate) cu un conţinut mediu de mangan < 1%, simbolizarea cuprinde succesiv următoarele simboluri:

a) litera C;

b) un număr care reprezintă de 100 de ori conţinutul mediu specificat de carbon în procente.

Pentru oţelurile nealiate cu un conţinut mediu de mangan ≥ 1,5, oţelurile nealiate pentru automate şi oţelurile aliate (cu excepţia oţelurilor rapide) la care conţinutul fiecărui element de aliere este < 5%, simbolizarea cuprinde succesiv următoarele simboluri:

a) un număr care reprezintă de 100 de ori conţinutul mediu specificat al carbonului în procente.

b) simbolurile chimice pentru elementele de aliere, care caracterizează oţelul. Succesiunea simbolurilor trebuie să fie în ordine descrescătoare a conţinuturilor de elemente de aliere pe care le reprezintă. Dacă valorile conţinuturilor sunt identice pentru două sau mai multe elemente, simbolurile corespunzătoare se indică în ordine alfabetică;

c) numerele care indică valorile conţinuturilor de elemente de aliere. Fiecare număr reprezintă conţinutul mediu al fiecărui element indicat, exprimat în procente, multiplicat cu factorul corespunzător prezentat în tabelul 6 şi rotunjit la numărul întreg cel mai apropiat. Numerele pentru diferitele elemente se separă prin liniuţă de despărţire.

Tabelul 6

Element	Factor
Cr, Co,Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

Pentru oţelurile aliate (cu excepţia oţelurilor rapide) în care conţinutul unui element de aliere este ≥ 5%, simbolizarea cuprinde succesiv următoarele simboluri:

a) litera X;
b) un număr care reprezintă de 100 de ori conţinutul mediu specificat de carbon;
c) simbolurile chimice pentru elementele de aliere care caracterizează oţelul. Succesiunea simbolurilor trebuie să fie în ordine descrescătoare a conţinuturilor de aliere pe care le reprezintă. Dacă valorile conţinuturilor sunt identice pentru două sau mai multe elemente, simbolurile corespunzătoare se indică în ordine alfabetică.
d) numerele care indică valorile conţinuturilor de elemente de aliere. Fiecare număr reprezintă conţinutul mediu al fiecărui element indicat, exprimat în procente, rotunjit la numărul întreg cel mai apropiat. Numerele pentru diferitele elemente se separă prin liniuţe de despărţire.

Pentru oţelurile rapide, simbolizarea cuprinde succesiv următoarele simboluri:

a) literele HS;

b) numerele care indică valorile conținuturilor de elemente de aliere, prezentate în ordinea următoare:

- wolfram (W);
- molibden (Mo);
- vanadiu (V);
- cobalt (Co).

Fiecare număr trebuie să reprezinte conținutul mediu al elementului rotunjit la numărul întreg cel mai apropiat. Numerele pentru diferitele elemente se separă prin liniuțe de despărțire.

Exemple de mărci de oțeluri conform unor SR EN-uri sunt date în tabelul 7, iar conform unor STAS-uri în tabelul 8.

Tabelul 7. Exemple de mărci de oţeluri conform unor SR EN-uri

Nr. crt.	Simbol principal conform SR EN 10027	Simbol suplimentar conform PR SR EN 100260	Categoria oţelului
1	S αβγ		Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
2	G S αβγ		Oţel turnat de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
3	P αβγ		Oţel pentru recipiente sub presiune cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
4	L αβγ		Oţel pentru ţevi de conducte cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
5	E αβγ		Oţeluri pentru construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
6	B αβγ		Oţel pentru beton armat cu Rm_{min} = αβγ N / mm^2
7	Y αβγ		Oţel pentru beton precomprimat cu Rm_{min} = αβγ N / mm^2
8	R αβγ		Oţel pentru sau sub formă de şine cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
9	H αβγ		Produs plate laminat la rece cu rezistenţă ridicată pentru ambutisare la rece cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
10	HT αβγ		Produs plat laminat la rece cu rezistenţă ridicată pentru ambutisare la rece cu Rm_{min} = αβγ N / mm^2
11	DC * (* = simbolul oţelului atribuit de organismul responsabil)		Produs plat laminat la rece pentru formarea la rece din oţel de marca *
12	DD * (* = simbolul oţelului atribuit de organismul responsabil)		Produs plat laminat la cald pentru formarea la rece din oţel de marca *
13	DX * (* = simbolul oţelului atribuit de organismul responsabil)		Produs plat laminat (nu este indicată starea de laminare) pentru formarea la rece din oţel de marca *
14	TH δε		Tablă simplu laminată neagră, stanată sau cromată cu duritatea Rockwell HR 30T = δε

15	T αβγ		Tablă dublu laminată neagră, stanată sau cromată cu Re_{min} = αβγ N / mm^2
16	Mδ–ε A		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ / 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei cu grăunți neorientați
17	Mδ– ε D		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ / 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei semiprocesate din oțel nealiat (fără recoacere finală)
18	Mδ– ε E		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ/ 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei semiprocesate din oțel aliat (fără recoacere finală)
19	Mδ– ε N		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ/ 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei cu grăunți orientați
20	Mδ– ε S		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ/ 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei cu grăunți orientați cu pierderi reduse
21	Mδ– ε P		Oțel pentru electrotehnică cu pierderile totale specifice de δ/ 100 (W / kg), cu grosimea nominală de ε / 100 (mm) a tablei cu grăunți orientați cu permeabilitate ridicată
22	S αβγ	JR	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 27 J la 20^0C
23	S αβγ	J0	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 27 J la 0^0C
24	S αβγ	J2	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 27 J la -20^0C
25	S αβγ	KR	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 40 J la 20^0C

26	S αβγ	K3	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 40 J la -30^{0}C
27	S αβγ	K4	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 40 J la -40 ^{0}C
28	S αβγ	LR	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 50 J la 20 ^{0}C
29	S αβγ	L5	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 50 J la -50 ^{0}C
30	S αβγ	L6	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 50 J la -60 ^{0}C
31	S αβγ	M	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 laminat termomecanic
32	S αβγ	N	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 normalizat sau laminat normalizant
33	S αβγ	S 3	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu specificarea: % S = 3 / 100
34	S αβγ	P 3	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu specificarea: % P = 3 / 100
35	S αβγ	G1	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 , cu cu anumite caracteristici mecanice precizate de standardul de produs
36	S αβγ	G1W	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu cu anumite caracteristici mecanice precizate de standardul de produs, rezistent la coroziunea atmosferică
37	S αβγ	K0 W	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, cu energia minimă de rupere KV de 40 J la 0^{0}C, rezistent la coroziunea atmosferică
38	S αβγ	+C	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu grăunte grosolan precizat în standardul de produs
39	S αβγ	+F	Oțel de construcții metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu grăunte fin precizat în standardul de produs

40	S αβγ	H	Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu prescripţie de călibilitate
41	S αβγ	+H	Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu prescripţie de călibilitate precizată în standardul de produs
42	S αβγ	+Z15	Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu gâtuirea minimă de 15 % precizată în standardul de produs
43	S αβγ	+Z25	Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu gâtuirea minimă de 25 % precizată în standardul de produs
44	S αβγ	+Z35	Oţel de construcţii metalice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2 cu gâtuirea minimă de 35 % precizată în standardul de produs
45	E αβγ	+N	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^{2,}, normalizat conform standardului de produs
46	E αβγ	+Q	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^{2,}, călit conform standardului de produs
47	E αβγ	+QA	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, călit în aer conform standardului de produs
48	E αβγ	+QO	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^{2,}, călit în ulei conform standardului de produs
49	E αβγ	+QT	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^2, călit şi revenit conform standardului de produs
50	E αβγ	+QW	Oţel de construcţii mecanice cu Re_{min} = αβγ N / mm^{2,}, călit în apă conform standardului de produs
51	C45		Oţel nealiat pentru călire şi revenire cu % C = 0,45
52	41Cr	S3	Oţel aliat pentru călire şi revenire cu % C = 0,41; % Cr < 1, cu specificarea % S = 3 / 100
53	20Mn	B5	Oţel aliat cu bor pentru călire şi revenire, cu % C = 0,20; % Mn < 1, cu specificarea % B = 5 / 1000
54	20Mn	B5H	Oţel aliat cu bor pentru călire şi revenire, cu % C = 0,20; % Mn < 1, cu specificarea % B = 5 / 1000, cu prescripţie de călibilitate
55	36NiMo16-10		Oţel aliat cu % C = 0,36; % Ni = 16 / 4; % Mo = 10 / 10
56	X5CrNi18-8		Oţel aliat cu % C = 0,05; % Cr = 18; %Ni = 8
57	HS2-9-1-8		Oţel pentru aşchiere rapidă (oţel rapid) cu % W= 2; % Mo = 9; % V = 1; % Co = 8

Tabelul 8. Exemple de mărci de oțeluri conform unor STAS-uri

Nr. crt.	Marca oțelului	STAS	Categoria oțelului
1	OL 37	500-80	Oțel cu destinație generală, calmat cu Rm = 37 daN / mm^2
2	OL37s	500-80	Oțel cu destinație generală, semicalmat cu Rm = 37 daN / mm^2
3	OL37n	500-80	Oțel cu destinație generală, semicalmat cu Rm = 37 daN / mm^2
4	OLT65	8183-80	Oțeluri pentru țevi fără sudură cu Rm = 65 daN / mm^2
5	OLT37.4.EP	12187-84	Oțel pentru table groase destinate elementelor principale ale podurilor cu Rm = 37 daN / mm^2
6	RCA37	500 / 1-80	Oțel cu rezistență mărită la coroziunea atmosferică cu Rm = 37 daN / mm^2
7	OCS44	9021-80	Oțel cu granulație fină pentru construcții metalice cu Re = 44 daN / mm^2
8	OPM	9531-80	Oțel pentru profile laminate la cald, destinate susținerii galeriilor de mină
9	L42	11505-80	Oțel pentru longeroane destinate autovehiculelor cu Rm = 42 daN / mm^2
10	C420	532-85	Oțel cu limită de curgere ridicată, în stare îmbunătățită cu Re = 420 N / mm^2
11	OB37	438 / 1-80	Oțel pentru armarea betonului cu Rm = 37 daN / mm^2
12	SBPI	6482 / 2-80	Oțel pentru beton precomprimat
13	K41	2883 / 3-80	Oțel pentru cazane şi aparate sub presiune pentru temperatura ambiantă şi temperaturi ridicate cu Rm = 41daN / mm^2
14	OLT45K	8184-87	Oțel pentru țevi necesare cazanelor energetice la temperatura ambiantă şi temperaturi ridicate cu Rm=45 daN/mm^2
15	R44	2883 / 2-80	Oțel pentru recipiente şi aparate sub presiune pentru temperatura ambiantă şi temperaturi scăzute cu Rm = 44 daN / mm^2
16	RV52	11502-89	Oțel pentru gaze lichefiate la temperaturi scăzute cu Rm = 52 daN / mm^2
17	OLC8	880-88	Oțel carbon de calitate pentru tratamente termice cu % C = 0,08

18	OLC45	880-88	Oţel carbon de calitate pentru tratamente termice cu % C = 0,45

19	41MoCr11	791-88	Oţel aliat pentru tratamente termice cu % C = 0,41; % Cr = 1,1
20	AUT20	1350-88	Oţel pentru prelucrare prin aşchiere pe maşini-unelte automate cu % C = 0,20
21	AUT20M	1350-88	Oţel pentru prelucrare prin aşchiere pe maşini-unelte automate cu % C = 0,20; % Mn = 1,2
22	20MnB	11511-80	Oţel pentru organe de asamblare cu % C = 0,20; % Mn < 1; % B < 1
23	RUL1	1456-89	Oţel pentru rulmenţi
24	RUL1v	1456-89	Oţel pentru rulmenţi dezoxidat în vid
25	OLC55A	795-87	Oţel carbon pentru arcuri cu % C = 0,55
26	51VCr11A	795-87	Oţel aliat pentru arcuri cu % C = 0,55; % Cr = 1,1
27	A1	9485-80	Oţel pentru deformare plastică la rece (ambutisare cu grad redus de deformare)
28	A3CK	9485-80	Oţel pentru deformare plastică la rece pentru genţi auto (ambutisare cu grad mediu de deformare)
29	A5-E	9485-80	Oţel pentru deformare plastică la rece pentru cuplaje electromagnetice (ambutisare foarte adâncă)
30	12NiCr170	3583-87	Oţel inoxidabil cu % C = 0,12; % Cr = 17; % Ni < 1
31	10AlCr240	11523-87	Oţel refractar cu % C = 0,10; % Cr = 24; % Al < 1
32	OSC7	1700-80	Oţel carbon pentru scule % C = 0,70
33	117VCr6	3611-88	Oţel aliat pentru scule cu % C = 1,17; % Cr = 0,6; % V < 1
34	155MoVCr115	3611-88	Oţel aliat pentru scule % C = 1,55; % Cr = 11,5; % Mo < 1; % V < 1
35	Rp1	7382-80	Oţel aliat pentru aşchiere rapidă (oţel rapid)
36	OT400-1	600-82	Oţel carbon turnat cu Rm = 400 N / mm^2
37	T20Mn14	1773-82	Oţel turnat slab aliat larg utilizat cu % C = 0,20; % Mn = 1,4
38	T20MoCr90X	6855-78	Oţel turnat aliat refractar şi anticoroziv cu % C = 0,2 % Cr = 9; % Mo < 1
39	T105M120	3718-76	Oţel turnat austenitic manganos cu % C = 1,05; % Mn = 1,2

A.V. Reprezentări schematice ale unor structuri de oțeluri în stare recoaptă

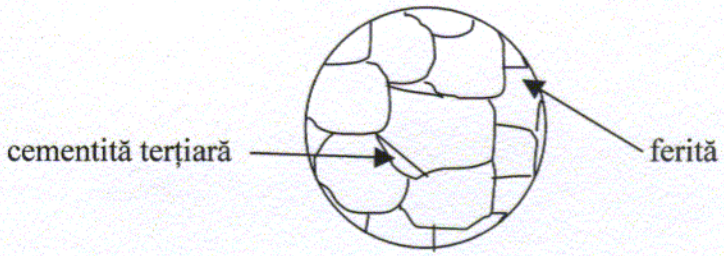


Fig.3
Reprezentarea schematică a structurii unui oțel hipoeutectoid (0,001 < %C< 0.0218)

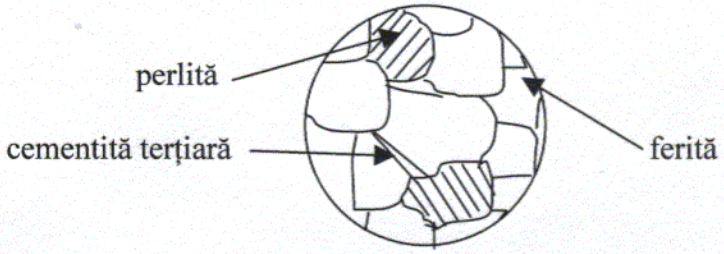


Fig.4
Reprezentarea schematică a structurii unui oțel hipoeutectoid (0,0218 < %C< 0,77)

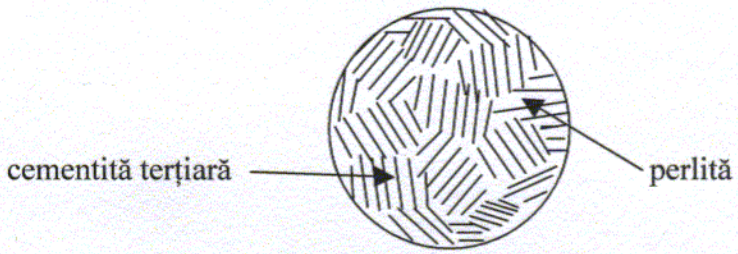


Fig.5
Reprezentarea schematică a structurii unui oțel eutectoid (%C = 0,77)

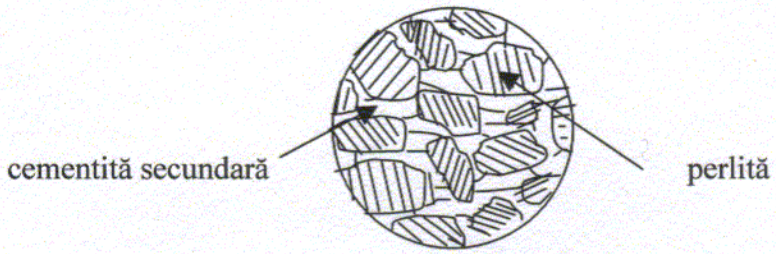


Fig.6
Reprezentarea schematică a structurii unui oțel hipereutectoid (0,77 < %C< 2,11)

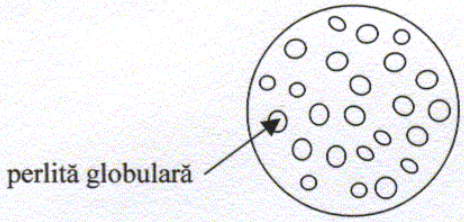


Fig.7
Reprezentarea schematică a structurii unui oţel eutectoid (%C =0,77)
supus tratamentului termic de globulizare

B. Modul de lucru

Se analizează microscopic materialele metalice afectate acestei lucrări de laborator şi se desenează schematic într-un cerc cu diamterul de 30 mm porţiunea reprezentativă de pe suprafaţa fiecărui material utilizat.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecţia muncii în vigoare.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 4
STUDIUL MICROSCOPIC AL FONTELOR LA ECHILIBRU

A. Noțiuni introductive

A.1.1. Diagrama fier – grafit

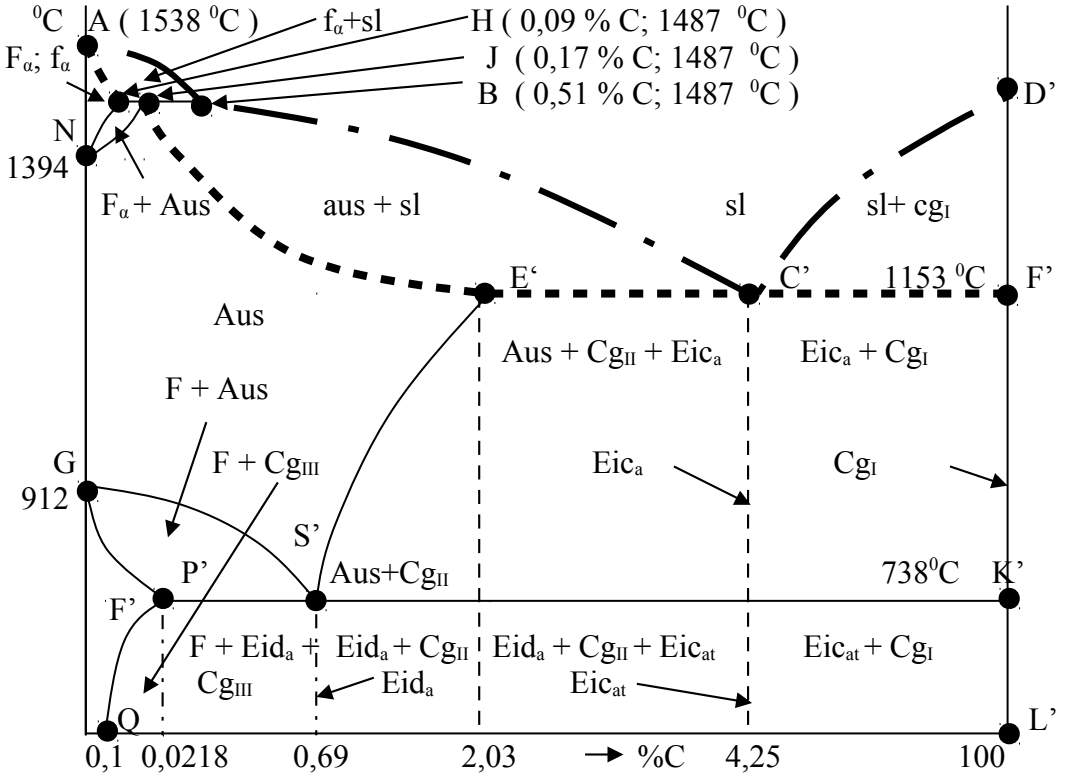


Fig.1

Diagrama fier - grafit:
sl-soluție lichidă; F_α – ferită (constituent metalografic); f_α – ferită (fază);
Aus-austenită (constituent metalografic); aus-austenită (fază);
F-ferită; Eid_a –eutectoid anormal (constituent metalografic);
Cg_I-grafit primar (constituent metalografic);
Cg_{II}-grafit secundar (constituent metalografic);
Cg_{III}- grafit terțiar (constituent metalografic);
Eic_a-eutectic anormal netransformat (constituent metalografic);
Eic_{at}- eutectic anormal transformat (constituent metalografic).

În diagramă sunt menționate:
-numai fazele deasupra liniei lichidus;
-constituenții metalografici sub linia solidus.

Diagrama de echilibru stabil descrie solidificarea fontelor cenuşii şi, la o anumită compoziție a austenitei, când are loc o tranziție în diagrama metastabilă, transformările în stare solidă.

A.II. Definirea şi clasificarea fontelor

Fontele sunt aliaje ale fierului la care conținutul de carbon depăşeşte pe cel corespunzător punctului E din diagrama de echilibru metastabil (% C =2,11) sau pe cel corespunzător punctului E' din diagrama de echilibru stabil (% C =2,03). La fonte, conținutul elementelor însoțitoare permanente (Mn, Si, P, S), inerente procesului de elaborare este mai mare decăt la oțeluri, ceea ce face mai aproximativă interpretarea rezultatelor pe baza diagramelor Fe – Fe_3C sau Fe – grafit.

Clasificarea fontelor se face după următoarele criterii :

- după materia primă utilizată la elaborare :
  - fonte de I a fuziune (din minereu);
  - fonte de a II a fuziune (prin retopirea fontei de I a fuziune);
- după aspectul suprafeței de rupere :
  - fonte albe (aspect metalic strălucitor; nu conțin grafit);
  - fonte cenişii (aspect întunecat; nu conțin ledeburită);
  - fonte pestrițe (aspect mixt ; conțin atât ledeburită cât şi grafit;
- după conținutul de elementului principal de aliere :
  - fonte nealiate;
  - fonte aliate:
    - -slab;
    - -mediu;
    - -înalt.

A.III. Structura fontelor

A.III.1. Structura fontelor nealiate

A.III.1.1. Structura fontelor nealiate albe

Formarea structurii fontelor nealiate albese explică prin referire la diagrama Fe – Fe_3C.

Ledeburita este un agregat eutectic obținut prin transformarea izotermă la 1148°C a soluției lichide conform reacției :

$$\text{Sol. lichidă}_C \longrightarrow \underbrace{A_E + \text{Cem. I}}_{\text{Led I}} \quad (\text{cementită primară}) \qquad (1)$$

Acest constituient metalografic este format din insule de austenită într-o matrice de cementită primară. Conținutul procentual de masă a celor două faze componente ale ledeburitei se poate calcula astfel:

$$\%Fe_3C = \frac{masa\ cementitei}{masa\ ledeburitei}100 = \frac{4,3-2,11}{6,67-2,11}100 = 50\%$$
$$\%A = \frac{masa\ austenitei}{masa\ ledeburitei}100 = \frac{6,67-4,3}{6,67-2,11}100 = 50\% \quad (2)$$

In intervalul de temperatură 1148 – 727 ^oC, austenita dizolvă tot mai puțin carbon (excesul de carbon formează cu fierul cementită secundară), iar la 727 ^oC atinge poziția punctului eutectoid (% C =0,77), când se transformă integral în perlită. Din acest motiv, ledeburita obținută la temperatura ambiantă se deosebeşte de cea provenită din reacția eutectică şi este denumită ledeburită transformată (R_m = 10 daN / cm^2; $A_r \approx 0$; HB > 450).

In concluzie se poate afirma că microstructura fontelor albe, indiferent de conținutul de carbon, este formată dintr-o matrice de cementită (primară sau secundată) şi colonii de perlită de formă dendritică (provenite din austenita proeutectică) sau de forma unor insule (provenite din austenita eutectică) .

Datorită prezenței masive a cementitei, fontele albe sunt dure şi fragil, motiv pentru care utilizarea lor este restrânsă (bile de moară, fălci de concasor).

A.III..1.2. Structura fontelor cenuşii nealiate

Formarea structurii fontelor cenuşii nealiate se explică prin referire la diagrama Fe – Cg.

Grafitul cristalizează în sistemul hexagonal şi rezistența sa mecanică este practic nulă şi, în consecință, la fontele cenuşii scad valorile rezistenței la tracțiune, ale modulului de elasticitate şi ale plasticității cu cât, la aceeaşi masă metalică de bază , creşte cantitatea de grafit, iar, la aceeaşi masă metalică de bază şi aceeaşi cantitate de grafit, aceleaşi valori menționate anterior scad dacă forma grafitului este mai puțin rotundă (efectul de masă a fisurării creşte).

In diagrama Fe – grafit, la temperatura de 1153 ^oC, are loc reacția eutectică:

$$\text{Sol. lichidă}_{C'} \longrightarrow \underbrace{A_E' + \text{grafit}_I}_{\text{Eutectic anormal}_I\,(E_{ie\,I})} \text{ (grafit primar)} \quad (3)$$

Conținutul procentual de grafit din eutectic (G_{ie}) se poate calcula cu ajutorul regulii segmentelor inverse:

$$\%G_{ie} = \frac{masa\ grafitului}{masa\ eutecticului}100 = \frac{4,25-2,03}{100-2,03}100 = 2,21\% \quad (4)$$

şi reprezintă 7,7% din volumul eutecticului.

Un astfel de eutectic, la care o fază este net preponderentă comparativ cu cealaltă, este denumit eutectic anormal.

Deoarece eutecticul şi eutectoidul din diagrama stabilă a sistemului de aliaje Fe-C sunt anormali, ei nu apar distinct la microscop decât în condiții cu totul speciale de pregătire a probelor metalografice, atunci se consideră că, la temperatura ambiantă, aceste aliaje prezintă numai doi constituienți metalografici şi anume ferită şi grafit, cu excepția aliajelor cu % < 0,001, care conțin numai ferită.

Structura fontelor cenuşii este influenţată şi de o eventuală tranziţie din diagrama stabilă în diagrama metastabilă.

Tranziţia din diagrama stabilă în diagrama metastabilă se poate produce la o temperatură cuprinsă între 1153 ^{0}C şi 738 ^{0}C, când factorii ce influenţează grafitizarea (viteza de răcire, conţinutul de C, Si etc.) devin inoperanţi şi aliajul respectiv se răceşte conform diagramei metastabile. Conţinutul de carbon al austenitei la care are loc tranziţia din diagrama stabilă în diagrama metastabilă poate fi în zona I, II sau III (fig 2) şi determină masa metalică a fontei cenuşii.

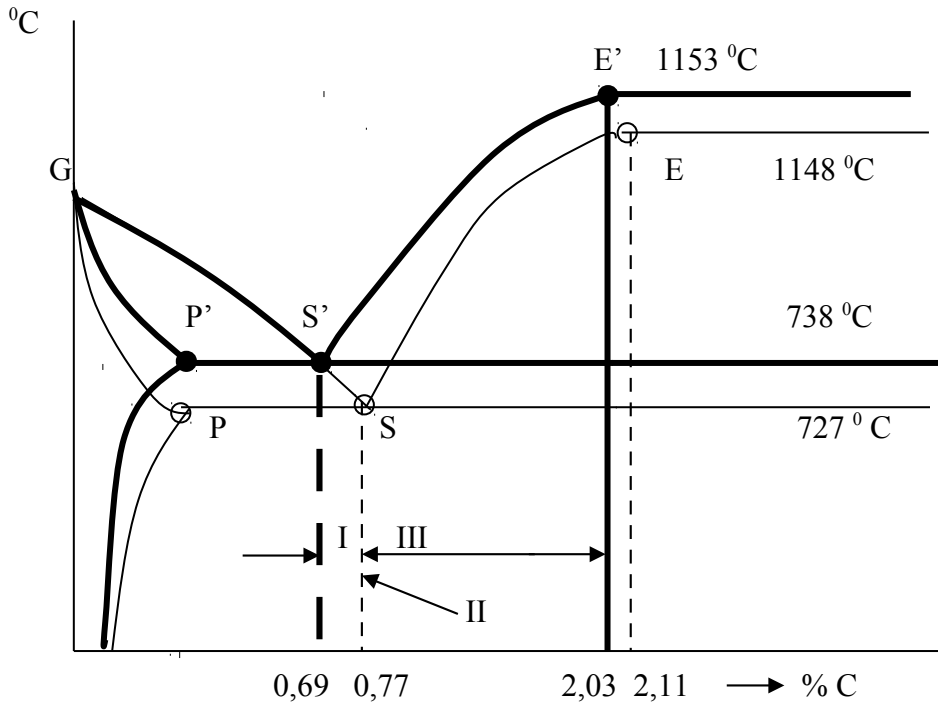


Fig. 2
Tranziţia din echilibrul stabil în echilibrul metastabil al fontelor cenuşii

Structura fontelor conţine suma constituenţilor metalografici:

-de înaintea tranziţiei:

-Eic_{an} în cazul fontelor hipoeutectice (2,03 < % C > 4,25);

-Eic_{an} în cazul fontei eutectice (% C = 4,25);

-Eic_{an} + Cg_I în cazul fontelor hipereutectice (% C > 4,25);

-şi de după tranziţie:

-F + P + Cem_{III} la tranziţia din zona I (zona oţelurilor hipoeutectoide);

-P la tranziţia din zona II (zona oţelurilor eutectoide);

-F + Cem_{II} din zona III (zona oţelurilor hipereutectoide);

Deoarece austenita din Eic_{an} se transformă în timpul tranziţiei, rezultă că din Eic_{an} rămâne vizibil numai grafitul (Cg_I).

De asemenea, deoarece prezența cementitei secundare şi terțiare este insignifiantă, rezultă că masa metalică a fontelor cenuşii la care apare tranziția poate fi:

-ferito-perlitică;

-perlitică.

În general, o viteză mărită de răcire diminuează grafitizarea, astfel încât compoziția chimică joacă un rol mai puțin important decât la oțeluri.

Viteza de răcire este determinată de:

-conductivitatea termică a aliajului;

-temperatura de turnare;

-temperatura formei de turnare;

-conductivitatea termică a formei de turnare;

-grosimea peretelui piesei turnate;

-configurația piesei.

Natura posibilă a masei metalice a unei bare rotunde turnate în amestec de formare este dată în diagrama din figura 3.

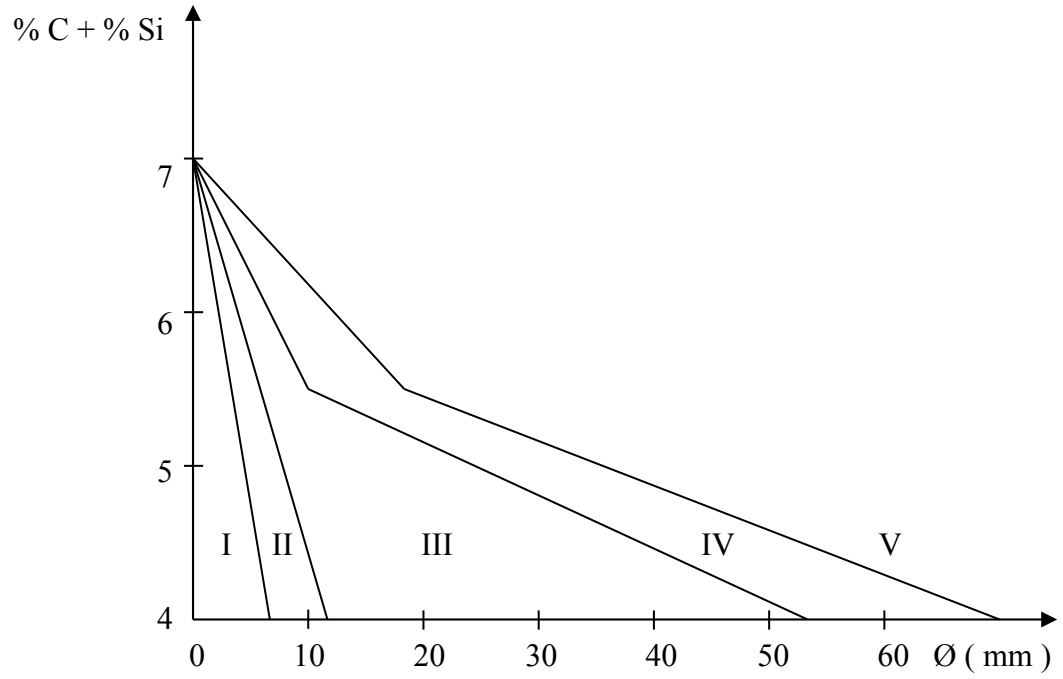


Fig. 3

Natura masei metalice a unei bare turnate în amestec de formare:

I-fontă albă; II-fontă pestriță; III- fontă cenuşie perlitică;

IV- fontă cenuşie ferito-perlitică; V- fontă cenuşie feritică.

Fonta cenuşie perlitică are rezistența la rupere cea mai mare.

Grafitul are o influență deosebită asupra proprietăților mecanice ale fontelor cenuşii prin:

-formă;

-mărime;

-distribuție;

-cantitate.

Forma grafitului poate fi:

-lamelară (fonta cenuşie obişnuită);
-vermiculară (fonta vermiculară);
-în cuiburi (fonta maleabilă);
-sferoidală (fonta nodulară).

Prezența grafitului:

-diminuează secțiunea efectivă;
-constituie o amorsă de fisură;
-măreşte prelucrabilitatea prin aşchiere;
-măreşte capacitatea de amortizare a vibrațiilor.

Cu cât forma grafitului este mai sferică, cu atât efectul de amorsă de fisură este mai mic.

Capacitatea de amortizare a vibrațiilor este maximă în cazul grafitului lamelar grosolan într-o matrice feritică.

A.III.2. Structura fontelor aliate

Fontele aliate au o importanță mult mai scăzută decât oțelurile aliate. Elementele de aliere din fonte au pe lângă efect alfagen sau gamagen şi efect:

-grafitizant (Al, C,Cu,Ni, Si,Ti, Zr)
-antigrafitizant (Cr, Mo, Mn, S, V, W, B, Se, Te).

Elementele antigrafitizante stabilizează carburile care se plasează, de obicei, la limita grăunților de ferită.

A.IV. Simbolizarea fontelor

Simbolizarea fontelor este dată de Standardul Român SR EN 1560:1999.

Astfel, simbolizarea fontelor poate fi alfanumerică şi numerică.

Simbolizarea alfanumerică ocupă maximum şase poziții, fără a fi necesar ocuparea tuturor pozițiilor. Între pozițiile ocupate nu trebuie să existe spații libere:

- poziția 1: EN- ;
- poziția 2: simbolul fontei, care este GJ, în care G reprezintă piesa turnată şi J reprezintă fonta;
- poziția 3: simbolul structurii grafitului care este o literă aleasă din tabelul 1;
- poziția 4: simbolul microstructurii sau macrostructurii, care se utilizează numai dacă se consideră necesar, şi este o literă aleasă din tabelul 2.

Tabelul 1

Simbolul	Structura grafitului
L	Lamelară
S	Sferoidală
M	grafit în cuiburi (maleabilă)
V	Vermiculară
N	fără grafit (dură), ledeburită
Y	structură specială, indicată în standardul de produs corespunzător

Tabelul 2

Simbolul	Microstructura sau macrostructura
A	Austenită
F	Ferită
P	Perlită
M	Martensită
L	Ledeburită
Q	Călită
T	călită şi revenită
B	inimă neagră (numai pt. fontele maleabile)
W	inimă albă (numai pt. fontele maleabile)

- poziția 5: simbolul de clasificare în funcție de caracteristicile mecanice, sau în funcție de compoziția chimică. Această poziție se separă de precedenta printr-o cratimă.

Fontele clasificate în funcție de caracteristicile mecanice se simbolizează prin cifre care indică caracteristicile mecanice şi litere, care indică modelul de prelevare a probelor pentru încercări (Tabelul 3) şi / sau temperatura la care se determină rezistența la încovoire prin şoc (Tabelul 4).

Tabelul 3

Simbolul	Modul de obținere al probelor pentru încercări
S	probă pentru încercat turnată separat
U	probă de încercat ataşată la piesa turnată
C	probă de încercat prelevată din piesa turnată

Rezistența la tracțiune se indică prin valori minime corespunzătoare mărcii, exprimată în N/mm^2, ca de exemplu:

EN - GJL - 150C;
EN - GJL - 150S;
EN - GJL - 400U.

În cazul în care este solicitată alungirea, se indică imediat după valoarea minimă a rezistenței la tracțiune prin valori minime corespunzătoare mărcii exprimate în procente, fiind separată de celelalte simboluri din poziția 5 prin cratimă, ca de exemplu:

EN – GJS – 350 – 22C;
EN – GJMW – 450 – 7S;
EN – GJS – 350 – 22U.

În cazul în care este solicitată rezistența la încovoiere la şoc se indică imediat după valoarea minimă a rezistenței la tracțiune prin valori minime corespunzătoare mărcii, exprimate în N/mm^2, fiind separate de celelalte simboluri din poziția 11 prin cratimă. Temperatura la care se determină rezistența la încovoiere la şoc se indică prin literele prezentate în tabelul 13, ca de exemplu:

EN – GJS – 400 - 18S – RT;
EN – GJS – 350 – 22U – LT.

Tabelul 4

Simbol	Temperatura de încercare la care se determină valoarea rezistenței la încovoiere prin șoc
RT	temperatura ambiantă
LT	temperatura scăzută

În cazul clasificării fontelor în funție de duritate, aceasta se indică prin unul din cele trei simboluri:

a) HB pentru duritatea Brinell;
b) HV pentru duritatea Vickers;
c) HR pentru duritatea Rockwell.

Aceste litere sunt urmate de două sau de trei cifre care reprezintă valoarea durității, ca de exemplu:

EN – GJL – HB155;
EN – GJS – HB230;
EN – GJS - HV350.

Dacă fontele se clasifică în funcție de compoziția chimică, litera X este primul simbmbol din poziția 5. Celelalte simboluri sunt următoarele:

a) clasificare fără indicarea conținutului de carbon. Litera X este urmată de simbolurile chimice ale elementelor de aliere importante din aliaj, începând cu cel al cărui conținut este mai mare. Conținutul se indică în procente, rotunjit la numărul întreg cel mai apropiat. Cifrele reprezentând conținutul elementelor de aliere în procente se separă unele de altele prin cratimă, ca de exemplu:

EN – GJL – XN_iMn13 –7;

b) clasificare cu indicarea conținutului de carbon. Când se solicită indicarea conținutului de carbon, acesta se indică după litera X sub forma conținutului în procente multiplicat ca 100 (de exemplu: 300 pentru 3%).

Toate celelalte elemente ale compoziției chimice reflectă condițiile prezentate în aliniatul precedent, ca de exemplu:

EN – GJN – X300 Cr Ni Si 9-5-2.

- poziția 6: simbolul de clasificare în funcție de condițiile suplimentare, prezentate în tabelul 5. Această poziție se separă de poziția 5 prin cratimă, ca de exemplu:

EN – GJMW – 360 – 12S – W

Tabelul 5

Simbolul	Condiții suplimentare
D	piesă brută turnată
H	piesă supusă tratamentului termic
W	sudabilitate pentru sudurile de îmbinare(a se vedea pct. 6.2 din EN1559-1:1997)
Z	condiții suplimentare specificate în comandă

Simbolizarea numerică cuprinde nouă caractere. Primul, al doilea, al patrulea şi al cincilea caracter sunt litere majuscule, al treilea caracter este cratimă şi de la al şaselea la al nouălea caracter sunt cifre arabe, ca de exemplu:

EN – JL 2171
EN – JS1131

Exemple de mărci de fonte conform unor SR EN –uri sunt date în tabelul 6, iar conform unor STAS-uri în tabelul 7.

Tabelul 6. Exemple de mărci de fonte conform unor SR EN –uri

Nr. crt.	Marca fontei	Categoria fontei
1	EN-GJL-150	Fontă cu grafit lamelar cu Rm = 150 N / mm^2
2	EN-GJL-150C	Fontă cu grafit lamelar cu Rm = 150 N / mm^2 din probă prelevată din piesă turnată
3	EN-GJL-150U	Fontă cu grafit lamelar cu Rm = 150 N / mm^2 din probă ataşată la piesă turnată
4	EN-GJL-150S	Fontă cu grafit lamelar cu Rm = 150 N / mm^2 din probă turnată separat
5	EN-GJL-HB155	Fontă cu grafit lamelar cu duritatea HB = 155
6	EN-GJV-150S	Fontă cu grafit vermicular cu Rm = 150 N / mm^2 din probă turnată separat
7	EN-GJMW-360-12S	Fontă maleabilă cu inimă albă cu Rm = 360 N / mm^2; A = 12 % din probă turnată separat
8	EN-GJMB-300-6S	Fontă maleabilă cu inimă neagră cu Rm = 300 N / mm^2; A = 6 % din probă turnată separat
9	EN-GJS-800-8U	Fontă nodulară (cu grafit sferoidal) cu Rm = 800 N / mm^2; A = 8 % din probă ataşată la piesă turnată
10	EN-GJS-400-18S-RT	Fontă nodulară (cu grafit sferoidal) cu Rm = 400 N / mm^2, cu energia minimă la rupere prin şoc pe epruvete Charpy cu crestătură de 18 J, din probă ataşată la piesă turnată, la temperatura ambiantă (23^0C)
11	EN-GJL-XNiMn13-7	Fontă cu grafit lamelar cu %Ni = 13; %Cr = 7
12	EN-GJN-X300CrNiSi9-5-2	Fontă albă (fără grafit) cu %C = 3; %Cr = 9; %Ni = 5; %Si = 2

Tabelul 7. Exemple de mărci de fonte conform unor STAS-uri

Nr. crt.	Marca fontei	STAS	Categoria fontei
1	Fc200	568-82	Fontă cu grafit lamelar cu Rm = 200 N / mm^2
2	Fgv-350	12443-86	Fontă cu grafit vermicular cu Rm = 350 N / mm^2
3.	Fma 35.03	569-79	Fontă maleabilă albă cu Rm = 35 daN / mm^2; A = 3 %
4	Fgn 400-12	6071-82	Fontă cu grafit nodular cu Rm = 400 N / mm^2; A = 12 %
5	Fr Cr 30	6706-79	Fontă refractară cu grafit lamelar cu % Cr = 30
6	Frn Si 5	6706-79	Fontă refractară cu grafit nodular cu % Si = 5
7	FcA3	6707-79	Fontă rezistentă la uzare în condiţii de frecare cu ungere, având grafit lamelar
8	FmA3	6707-79	Fontă maleabilă, rezistentă la uzare în condiţii de frecare cu ungere
9	F.a. Ni.Cr.1	11246-79	Fontă cu grafit lamelar rezistentă la uzare în condiţii de frecare abrazivă
10	F.a.l. Ni.Mn. 13.07	10066-79	Fontă austenitică cu grafit lamelar cu % Ni = 13 şi % Mn = 7
11	F.a.g.n.Ni.Si.Cr.20.5.2.	10066-79	Fontă austenitică cu grafit nodular cu % Ni = 20; % Si = 5; % Cr = 2
12	FcX 300	2541-86	Fontă cenuşie pentru maşini-unelte cu Rm = 300 N / mm^2

A.V. Reprezentări schematice ale unor structuri de fonte

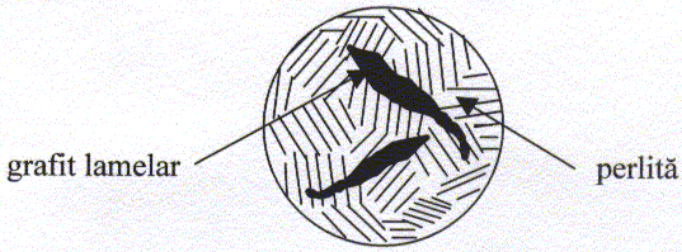


Fig.4
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte cu grafit lamelar perlitice

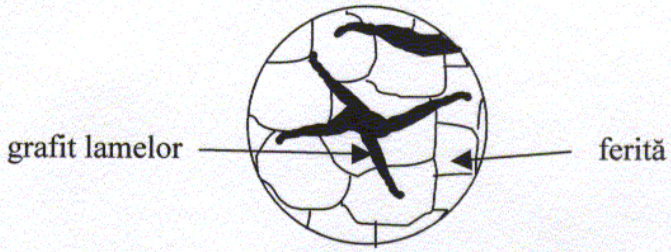


Fig.5
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte cu grafit lamelar feritice

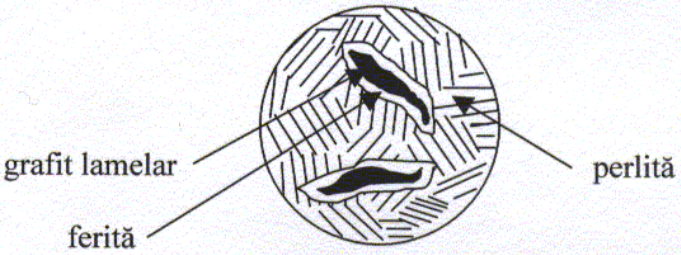


Fig.6
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte cu grafit lamelar perlitice

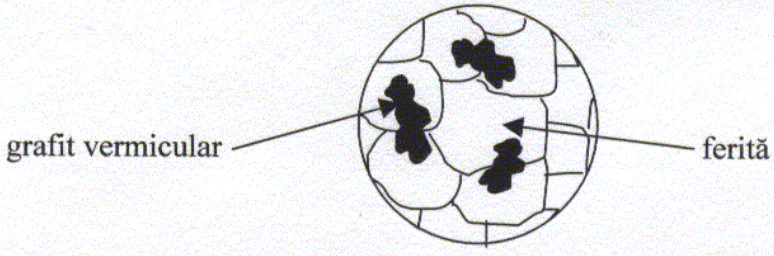


Fig.7
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte cu grafit vermicular feritice

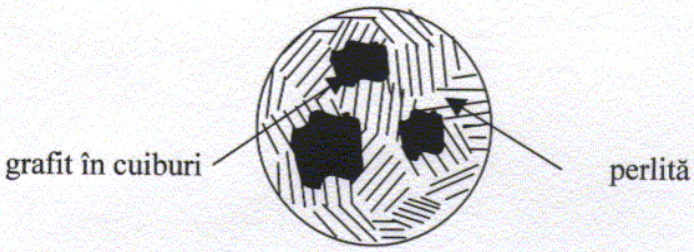


Fig.8
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte maleabile perlitice

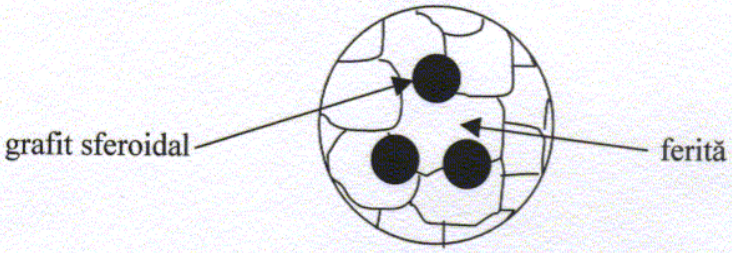


Fig.9
Reprezentarea schematică a structurii unei fonte nodulare feritice

B. Modul de lucru

Se analizează microscopic materialele metalice afectate acestei lucrări de laborator şi se desenează schematic într-un cerc cu diamterul de 30 mm porţiunea reprezentativă de pe suprafaţa fiecărui material utilizat.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecţia muncii în vigoare.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 5
STUDIUL MICROSCOPIC AL CUPRULUI ŞI ALIAJELOR PE BAZĂ DE CUPRU

A. Noțiuni introductive

A.1. Proprietățile cuprului

-masa molară: M = 63,54;
-masa volumică: $\rho = 8930$ kg / m^3 la 20 ^oC;
-parametrul cristalin: a = 0,360 nm la 20^o C (cfc);
-temperatura de topire: 1083 ^oC;
-coeficient de dilatare liniară:
$\alpha = 16,6\ 10^{-6}$-$16,1\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 100 ^oC;
$\alpha = 17,6\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 300 ^oC;
-capacitatea termică masică: c = 0,385 kJ / kg K la 20 ^oC;
-conductivitatea termică: $\lambda = 385$ W / mK de la 0 la 800^0 C;
- rezistivitatea electrică: $\rho = 1,7241\ \mu\Omega$ cm.

Valorile conductivității termice şi rezistivității electrice sunt luate prin convenție ca valori de referință egale cu 100 % IACS (International Annealed Copper Standard).

La temperatura ambiantă şi în aer uscat, cuprul se acoperă cu o peliculă protectoare de de oxid (Cu_2O). Apa de mare nu are decât o acțiune superficială, dar clorurile şi acizii atacă acest metal.

Proprietățile mecanice ale cuprului în stare recoaptă sunt:
-rezistența de rupere la tracțiune: R_m = 230 MPa;
-limita elastică: R_e = 70 MPa;
-alungirea relativă: A_r = 45 %.

Prin deformare plastică la rece proprietățile mecanice ale cuprului sunt îmbunătățite, în sensul că:

-se măreşte R_m, R_e şi H;
-scade A_r şi KCU.

A.II. Definirea şi clasificarea cuprului şi aliajelor sale

Cuprul este deosebit de utilizat în industrie, atât ca metal tehnic pur (50% din producția de cupru) cât şi prin aliajele sale.

Cuprul tehnic pur se poate clasifica:

-după procedeul de rafinare:
  - cupru rafinat termic;
  - cupru rafinat electrolitic;

-după conținutul de oxigen:
  - cupru rafinat ce conține oxigen(%Cu≥99,9);
  - cupru fără oxigen cu dezoxidant rezidual (%Cu≥99,9);
  - cupru fără oxigen(%Cu =99,95-99,9).

Impuritățile mai importante ale cuprului sunt oxigenul, care favorizează fragilitatea, şi fosforul, provenind de la dezoxidarea cu fosfuri de cupru (Cu_3P_2 etc.), care scad conductivitatea electrică sau termică.

Aliajele cuprului se pot clasifica astfel:
-după natura elementului principal de aliere:
- aliaje Cu-Zn (alame);
- aliaje Cu-Sn (bronzuri cu staniu);
- aliaje Cu-Al (bronzuri cu aluminiu);
- aliaje Cu-Ni (aliaje melchior etc);

-după conținutul elementului principal de aliere:
- cupru slab aliat:
  - -cu argint (%Ag = 0,08);
  - -cu cadmiu(%Te = 0,3-0,7);
  - -cu crom(%Cr = 0,5-0,9);
  - -cu beriliu (%Be = 2);
- -aliaje propriu-zise;

- după modul de obținere:
- aliaje deformabile;
- aliaje turnate în piese sau blocuri;
- aliaje obținute prin agregare de pulberi.

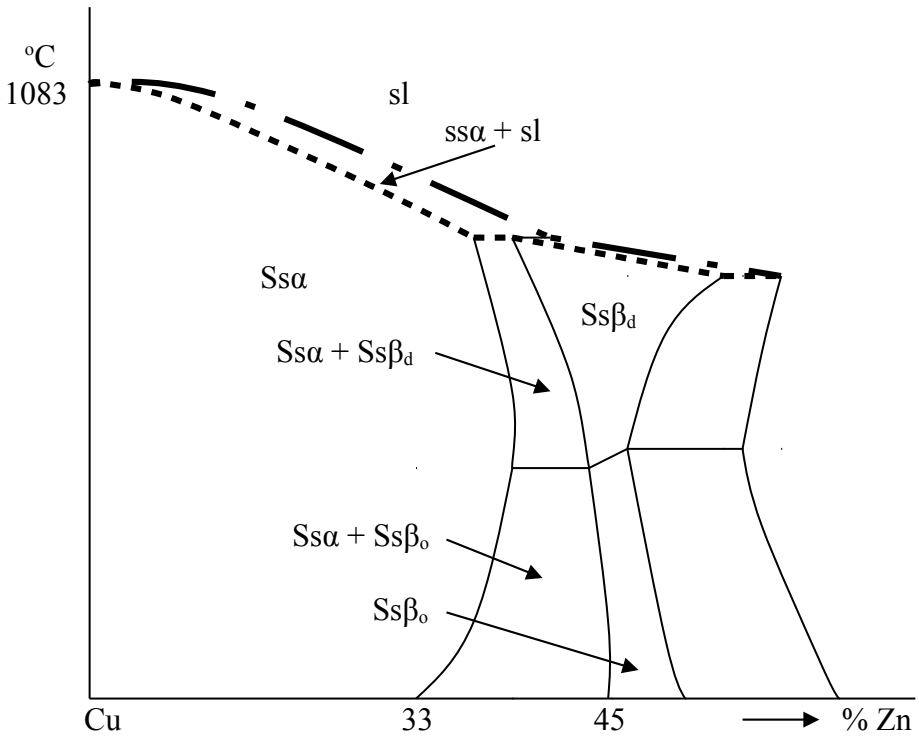


Fig. 1
Diagrama parțială Cu-Zn

Alamele se pot clasifica în:

- alame simple (care corespund diagramei Cu-Zn din fig.1):
  - -alame α :
    - -alame α obişnuite(10<%Zn<33)
    - -tombac(5<%Zn≤45);
  - -alame α+β' (33<%Zn<45);
- -alame complexe:
  - -alame cu plumb;
  - -alame speciale:
    - -cu Si;
    - -cu Al;
    - -cu Sn;
    - -cu Te;
    - -cu Mn, etc.

La rândul lor, bronzurile cu staniu se pot clasifica astfel:

- -bronzuri simple (care corespund diagramei Cu-Sn din fig.2):
  - -bronzuri α (%Sn<14);
  - -bronzuri α+γ (14<%Sn<32);
- -bronzuri complexe:
  - -cu P;
  - -cu Pb;
  - -cu Zn etc.

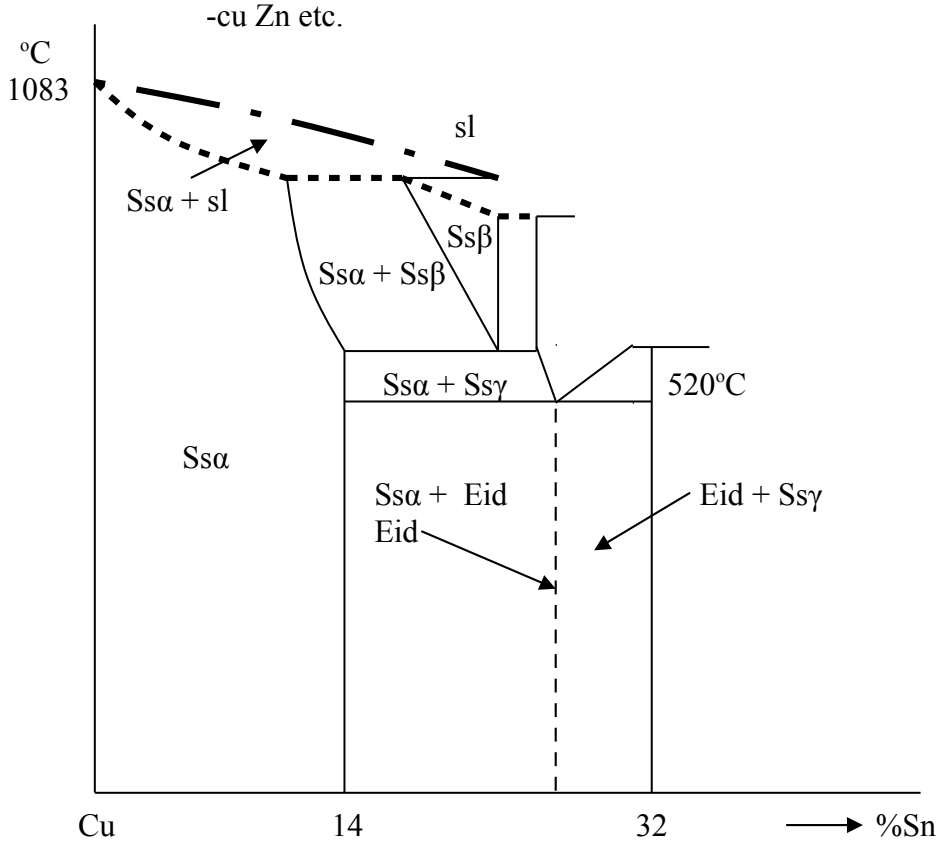


Fig. 2
Diagrama parțială Cu-Sn

De asemenea, bronzurile cu aluminiu pot fi:

-bronzuri simple (care corespund diagramei Cu-Al din fig.3):

-bronzuri α (%Al<9,4);

-bronzuri $\alpha+\gamma_2$ (9,4<%Al<15,6);

-bronzuri complexe:

-cu Ni;

-cu Fe;

-cu Mn etc.

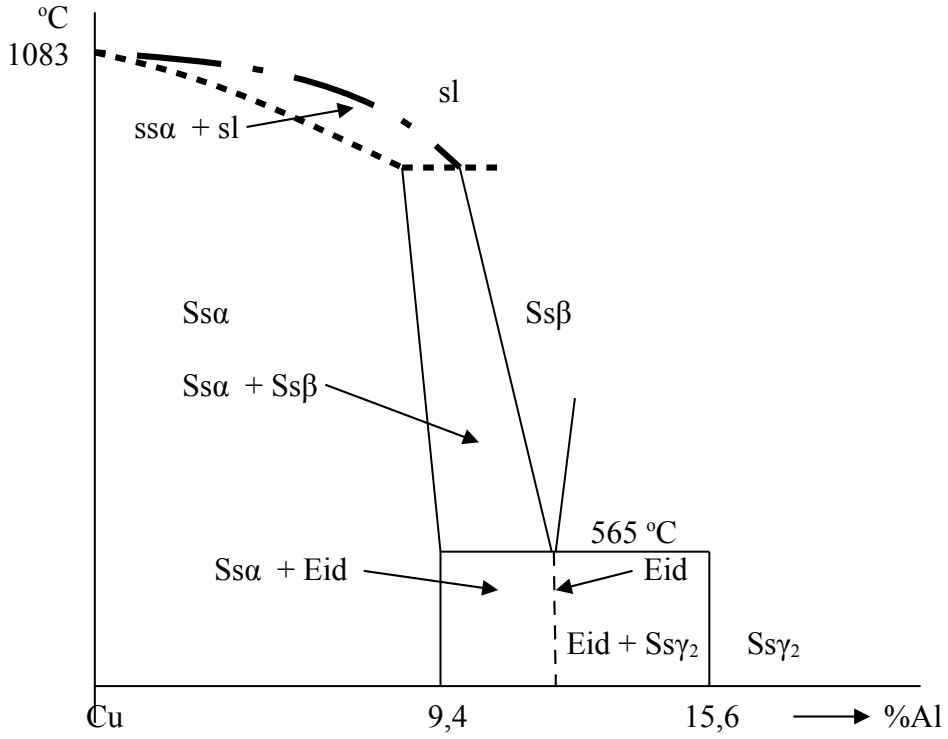


Fig. 3
Diagrama parțială Cu-Al

In general, aliajele cuprului au caracteristici mecanice mai bune decât cele ale metalului de bază şi un preț de cost relativ mai scăzut.

Toate aliajele cuprului de tipul Cu-X (X =Zn, Sn, Al) prezintă soluții solide de tipul prezentat în tabelul 1.

Tabelul 1

% X	Denumirea soluției solide	Rețeaua de cristalizare	Caracteristica mecanică principală
↓	soluție solidă α	c.f.c	maleabilă
	soluție solidă β	c.v.c.	maleabilă
	soluție solidă γ	cubică cu 52 atomi în rețea	foarte fragilă

A.III. Simbolizarea cuprului şi aliajelor sale

Simbolizarea cuprului şi a aliajelor pe bază de cupru este dată de Standardul Român SR ISO 1190/1:1993.

Simbolizarea cuprului conţine simbolul chimic (Cu), urmat de o serie de litere majuscule, care se referă la tipul de cupru. Literele majuscule trebuie să fie separate de simbolul chimic printr-o liniuţă pentru a indica faptul că ele nu corespund simbolurilor chimice. De exemplu: Cu- ETP, Cu-DHP, Cu- FRHC.

Simbolizarea aliajelor de cupru trebuie să conţină simbolurile chimice ale elementului de bază (Cu) şi cele ale elementelor de aliere, urmate de numere, de preferinţă întregi, indicând conţinuturile (dacă aceste elemente sunt prezente la conţinuturi nominale în jur de 1% sau mai mult). Elementele de aliere trebuie să fie în ordine descrescătoare (de exemplu: CuZn36Pb3) sau, în cazul conţinuturilor egale, în ordine alfabetică a simbolurilor chimice(de exemplu: CuAl1F5Ni5), cu condiţia ca elementul principal de aliere, să fie înscris primul, fără a ţine seama de conţinutul său (de exemplu: CuNi18Zn27 şi nu CuZn27Ni18).

Aliajele de turnătorie trebuie să conţină prefixul G. În funcţie de procedeul de turnare, se utilizează următoarele prefixe:

GS: turnare în nisip;

GM: turnare în cochilă;

GZ: turnare centrifugală;

GC: turnare continuă;

GP: turnare sub presiune;

GV: turnare cu vibrare.

Simbolizarea stărilor cuprului şi aliajelor pe bază de cupru este dată de Standardul Român SR ISO 1190/2:1993.

Simbolizarea stărilor de bază este următoarea:

-M (brut de fabricaţie): pentru produsele obţinute din operaţiile de punere în formă (sau fabricaţie), în cursul cărora nu se efectuează nici o verificare specială privind condiţiile de temperatură sau gradul de ecruisare;

-O (recopt): pentru produsele deformate care au fost supuse unei recoaceri complete şi pentru produsele turnate, supuse unei recoaceri destinate îmbunătăţirii ductilităţii şi stabilizării caracteristicilor;

-H (ecruisat): pentru produsele deformate , supuse unei deformări la rece după recoacere, sau unei combinaţii între o deformare la rece şi un tratament de recoacere parţială sau de stabilizare, cu scopul obţinerii unor caracteristici mecanice prescrise. Litera H trebuie să fie întotdeauna urmată de o a doua literă ce corespunde diferitelor grade de ecruisare;

-T (tratat termic pentru obţinerea unor stări diferite de M, O, sau H): pentru produsele a căror rezistenţă mecanică poate fi îmbunătăţită printr-un tratament termic, asociat sau nu, cu o ecriusare suplimentară.

Exemple de mărci de cupru şi aliaje pe bază de cupru conform SR ISO 1190/1:1993 sunt date în tabelul 2, iar conform unor STAS-uri în tabelul 3.

Tabelul 2. Exemple de mărci de cupru şi de aliajele sale conform SR ISO1190/1:1993

Nr. crt.	Marca cuprului sau aliajului pe bază de cupru	Categoria cuprului sau aliajului pe bază de cupru
1	Cu-FRTP (Fire Refined, Tough Pitch)	Cupru rafinat termic, cu oxigen (Cu ≥ 99,00 %)
2	Cu-FRHC (Fire Refined, High Conductivity)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conductivitate electrică ridicată (Cu ≥ 99,90 %)
3	Cu-DHP (Desoxygenized, High Phosphorus)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conţinut ridicat de fosfor (Cu ≥ 99,90 %) (P = 0,013-0,050 %)
4	Cu-ETP (Electrolysed, Tough Pitch)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in aer, cu oxigen (Cu ≥ 99,90 %)
4	Cu-DLP (Desoxygenized, Low Phosphorus)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in aer, dezoxidat cu fosfor, cu conţinut scăzut de fosfor (Cu ≥ 99,90 %) (P = 0,004-0,012 %)
5	Cu-OF (Oxygen Free)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, fără oxigen (Cu = 99,95 %)
6	Cu-OFE (Oxygen Free Electronic)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, fără oxigen, pentru aplicaţii în electronică (Cu = 99,99 %)
7.	CuZn36Pb3	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 36 % şi Pb = 3 %, deformabil (Alamă cu zinc şi plumb)
8	GS CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 40 %, Mn < 1 % şi Al < 1 %, turnat în amestec de formare (Alamă cu mangan şi aluminiu)
9	GM CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn=40 %, Mn <1 % şi Al <1 %, turnat în cochilă (Alamă cu mangan şi aluminiu)
10	CuAl1Fe5Ni5	Aliaj pe bază de cupru cu Al = 1 %, Fe = 5 % şi Ni = 5 %, deformabil (Aluminiul este elementul principal de aliere; conţinuturile de fier şi nichel sunt menţionate în ordine alfabetică)
11	CuNi18Zn27	Aliaj pe bază de cupru cu Ni = 18 % şi Zn = 27 %, deformabil (Maillechort) (Nichelul este elementul principal de aliere)

Tabelul 3. Exemple de mărci de cupru şi de aliajele sale conform unor STAS-uri

Nr. crt	Marca cuprului sau aliajului pe bază de cupru	STAS	Categoria cuprului sau aliajului pe bază de cupru
1	Cu A	643-80	Cupru de convertizor (Cu ≥ 99,95 %)
2	Cu 99,7 k	270-80	Cupru rafinat electrolitic, în catozi (Cu ≥ 99,97 %)
3	Cu 99,5 k	270-80	Cupru rafinat electrolitic, în alte forme (Cu ≥ 99,95 %)
4	Cu 99,98	270-80	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, turnat continuu, fără oxigen (Cu = 99,98 %)
5	CuZn10	95-80	Alamă fără plumb, deformabilă (Zn = 10 %)
6	CuZn39Pb2	95-80	Alamă cu plumb, deformabilă (Zn = 39 %; Pb = 2 %)
7	CuZn40PbT	199 / 2-86	Alamă cu plumb, de turnătorie (Zn = 40 %; Pb < 1 %)
8	CuSn6	93-80	Bronz cu staniu, deformabil (Sn = 6 %)
9	CuSn14T	197 / 2-83	Bronz cu staniu, de turnătorie (Sn = 14 %)
10	CuAl9Mn2	203-80	Bronz cu aluminiu, deformabil (Al = 9 %; Mn = 2 %)
11	CuAl10Fe3T	198 / 2-81	Bronz cu aluminiu, de turnătorie (Al = 10 %; Fe = 3 %)

A.IV. Reprezentări schematice ale unor structuri de cupru şi aliajele sale

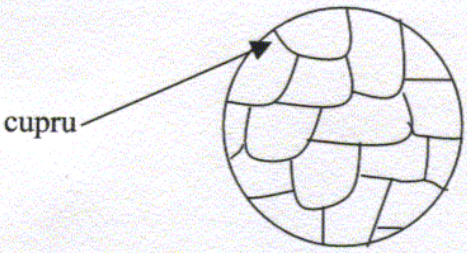


Fig.4
Reprezentarea schematică a structurii cuprului deformat la rece şi recopt
(după atac cu persulfat de amoniu 10%)

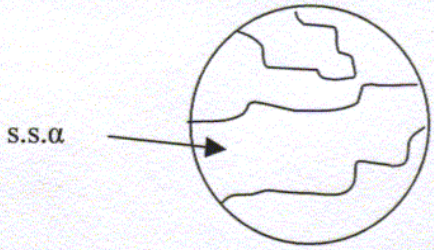


Fig.5
Reprezentarea schematică a structurii alamei GCuZn20 turnată
(după atac cu clorură cuprică amoniacală)

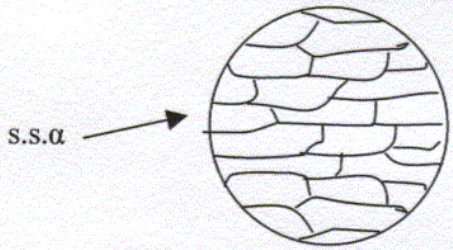


Fig.6
Reprezentarea schematică a structurii alamei GCuZn20
deformată la rece cu grad de deformare de 240%
(după atac cu clorură cuprică amoniacală)

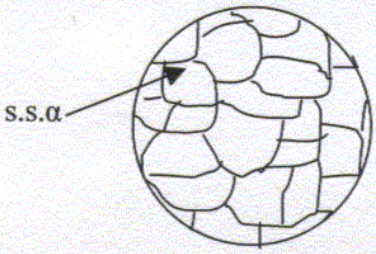


Fig.7
Reprezentarea schematică a structurii alamei GCuZn20
deformată la rece cu grad de deformare de 240%
şi supusă tratamentului termic de recristalizare
(după atac cu clorură cuprică amoniacală)

B. Modul de lucru

Se analizează microscopic materialele metalice afectate acestei lucrări de laborator şi se desenează schematic într-un cerc cu diametrul de 30 mm porțiunea reprezentativă de pe suprafața fiecărui material utilizat.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecția muncii în vigoare.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 5
STUDIUL MICROSCOPIC AL ALUMINIULUI ŞI ALIAJELOR PE BAZĂ DE ALUMINIU

A. Noţiuni introductive

A.1. Proprietăţile aluminiului

-masa molară: M = 26,97;
-masa volumică: $\rho = 2700$ kg / m^3 la 20 ^oC;
-parametrul cristalin: a = 0,364 nm la 20^o C (cfc);
-temperatura de topire: 660 ^oC;
-coeficient de dilatare liniară:
$\alpha = 23,8\ 10^{-6}$-$16,1\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 100 ^oC;
$\alpha = 25,4\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 300 ^oC;
-capacitatea termică masică: c = 0,95 kJ / kg K la 20 ^oC;
-conductivitatea termică: $\lambda = 217,6$ W / mK de la 0 la 800^0 C;
-rezistivitatea electrică: $\rho = 2,63\ \mu\Omega$ cm.

Conductivitatea electrică a aluminiului este 65 % din cea a cuprului.

Aluminiul este foarte oxidabil, dar se acoperă cu o peliculă de oxid (Al_2O_3) groasă, aderentă, care îl protejează bine în soluţii de acid clorhidric, sulfuric şi azotic, dar deloc în baze.

Proprietăţile mecanice ale aluminiului 99,5 % în stare recoaptă sunt mediocre:
-rezistenţa de rupere la tracţiune: R_m = 70-80 MPa;
-limita elastică: R_e = 10-20 MPa;
-alungirea relativă: A_r = 50-60 %;
-modulul lui Joung: E = 65000 - 70000 MPa.

Prin deformare plastică la rece proprietăţile mecanice ale aluminiului sunt îmbunătăţite, în sensul că:

-se măreşte R_m, R_e şi H;
-scade A_r şi KCU.

A.II. Definirea şi clasificarea aluminiului şi aliajelor sale

Aluminiul are caracteristici mecanice mediocre, motiv pentru care aliajele sale au o utilizare tot mai largă.

Aluminiul tehnic pur se poate clasifica astfel:

-aluminiu tehnic primar ($99,00 \leq \%Al \leq 99,80$) ;
-aluminiu tehnic rafinat electrolitic ($\%Al \geq 99,99$) ;

Impurităţile aluminiului au efecte diferite :

-asupra conductivităţii electrice. Ea este diminuată la prezenţa oricărei impurităţi;
-asupra altor parametri :
-Ti (0,05-0,10 %) şi Be (0,05-0,01 %) afinează grăuntele cristalin în timpul solidificării;
-Zr (< 0,10 %) inhibă creşterea grăunţilor cristalini ;
-Si (0,5-0,8 %) scade rezistenţa la fisurare la cald, dar măreşte rezistenţa la fluaj;

-Ni şi Fe măresc rezistenţa mecanică la cald ;

-suma Ca+Ni+Sn+Pb trebuie să fie mai mică de 0,1 % pentru a mări rezistenţa la coroziune;

-Cr şi Mn influenţează pozitiv rezistenţala coroziune.

Aliajele de aluminiu pot fi clasificate astfel:

-după principalele elemente de aliere:

-Al-Cu;

-Al-Mn;

-Al-Si;

-Al-Mg;

-Al-Mg-Si;

-Al-Zn;

-după tratamentul termic de durificare structurală :

-aliaje cu durificare structurală ;

-aliaje fără durificare structurală ;

-după modul de obţinere :

-aliaje deformabile;

-aliaje turnate;

-aliaje obţinute prin agregare de pulberi.

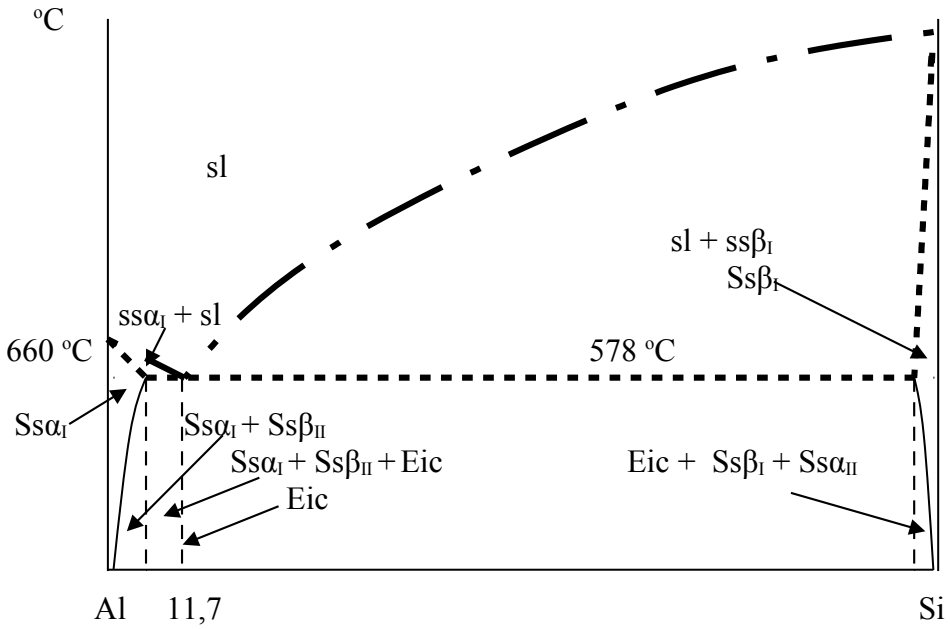


Fig. 1

Diagrama de echilibru Al-Si

Aliajele pentru turnare au punctul eutectic la valori relativ scăzute ale temperaturii şi conţinutului elementului principal de aliere, aşa cum se observă la diagrama de echilibru Al-Si prezentată în fig.1.

Aliajele cu durificare structurală trebuie să prezinte o curbă de variaţie a solubilităţii elementului principal de aliere în soluţia solidă suficient de înclinată, corespunzătoare unor conţinuturi relativ mici ale acestui element. Un exemplu în acest sens se poate observa în diagrama de echilibru Al-Cu prezentată în fig.2.

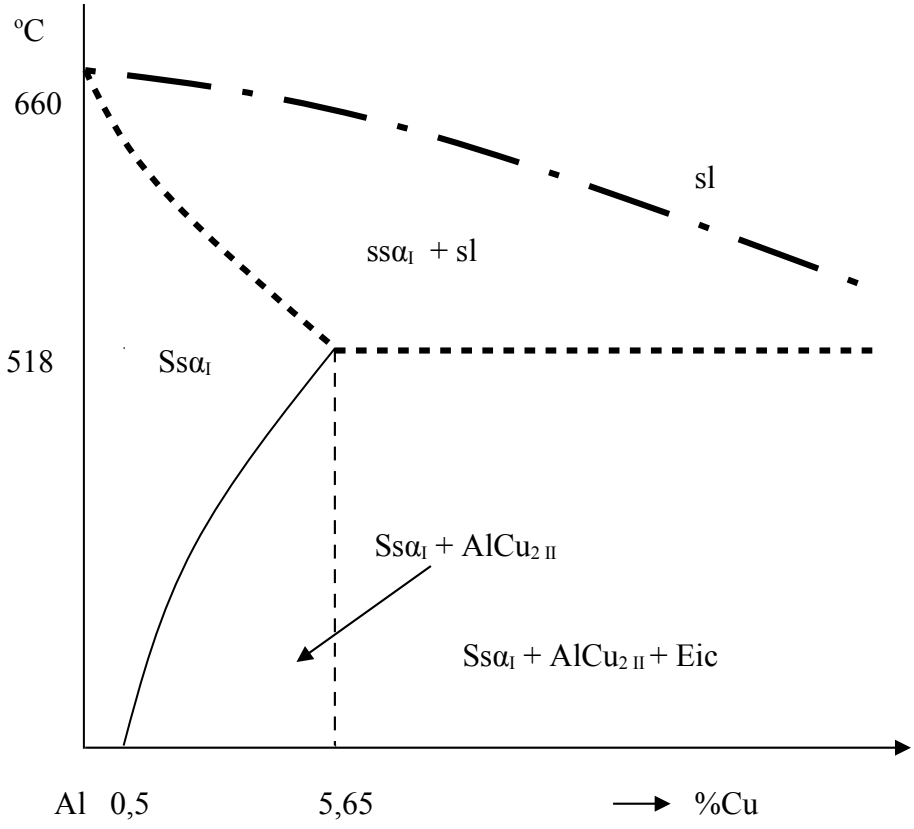


Fig. 2
Diagrama parțială Al-Cu

A.III. Simbolizarea aluminiului şi a aliajelor deformabile pe bază de aluminiu

Sistemele de simbolizare pentru aluminiu şi aliajele deformabile pe bază de aluminiu sunt următoarele:

-simbolizarea numerică;

-simbolizarea bazată pe simbolurile chimice .

Simbolizarea numerică a aluminiului şi aliajelor deformabile pe bază de aluminiu este dată de Standardul Român SR EN 573-1:1995.

Această simbolizare se constituie succesiv din:

-prefixul EN urmat de un spațiu;

-litera A care reprezintă aluminiu;

-litera W care reprezintă produse obținute prin deformare plastică;

-o liniuță;

-patru cifre care reprezintă compoziția chimică .

Prima cifră din cele patru indică grupa aliajului şi anume :

-aluminiu minimum 99,00 % _ _ _ _ _ _ _ _ _ _1xxx (seria 1000);

-aliaje de aluminiu grupate după principalele elemente de aliere :

-cupru _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _2xxx (seria 2000);

-mangan _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 3xxx (seria 3000);

-siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 4xxx (seria 4000);

-magneziu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _5xxx (seria 5000);

-magneziu şi siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 6xxx (seria 6000);

-zinc _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _7xxx (seria 7000);

-alte elemente _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _8xxx (seria 8000);

-serii neuzuale _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _9xxx (seria 9000).

Conform standardului menţionat anterior, un element de aliere se defineşte ca orice element care se adaugă intenţionat în aliaj, pentru orice scop cu excepţia finisării granulaţiei şi pentru care se precizează limitele maxime şi minime.

In grupa 1xxx, ultimele două cifre indică procentul maxim de aluminiu. Aceste cifre sunt aceleaşi ca şi cele două cifre din partea dreaptă a cifrei corespunzătoare procentului minimde aluminiu, când acesta se exprimă cu o precizie de 0,01 % .Adoua cifră indică modificările în limitele de impurităţi sau în elementele de aliere.

In grupa de aliaje de la 2xxx la 8xxx inclusiv, ultimele două cifre nu au o semnificaţie specială şi ajută numai la identificarea diferitelor aliaje de aluminiu din grupă. A doua cifră indică modificările aliajului.

Variantele naţionale se identifică printr-o serie de litere care urmează după cele patru cifre. Seria de litere se atribuie în ordine alfabetică, pornind de la A pentru prima variantă naţională înregistrată, dar trebuie omise literele I, O şi Q.

Simbolizarea bazată pe simbolurile chimice este dată de Standardul Român SR EN 573-2:1995, care este identic cu Standardul European EN 573-2:1994 .

Simbolurile chimice sunt urmate de obicei de numere care indică puritatea aluminiului sau conţinutul nominal al elementului considerat.

In general, toate simbolizările corespunzătoare acestei codificări trebuie scrise între paranteze drepte şi urmează după simbolizarea cu patru cifre.

Dacă, în mod excepţional se utilizează numai simbolizarea bazată pe simboluri chimice, atunci aceasta trebuie să aibă prefixul EN urmat de un spaţiu liber şi apoi de litera A care reprezintă aluminiu şi de litera W, de identificare a produselor obţinute prin deformare plastică (şi lingouri care urmează să fie deformate). Litera W se separă de simbolurile următoare printr-o cratimă.

Simbolizările pentru aluminiul nealiat deformabil constau în simbolul chimic Al urmat de procentul de puritate exprimat prin una sau mai sau mai multe zecimale , după necesităţi.

Simbolul Al se separă printr-un spaţiu liber de procentul de puritate.

Exemplu : EN AW-1199 [Al 99,99]

Dacă se adaugă un element într-un conţinut scăzut , simbolul corespunzător acestui element se scrie fără spaţiu liber după procentul de puritate.

Exemplu: EN AW – 1100 [Al 99,0Cu]

Un aliaj se simbolizează prin simbolul Al urmat de simbolul principalului element (sau elemente) de aliere.

Aceste simboluri sunt urmate în mod uzual de numere care exprimă conţinutul în procente de masă al elementelor considerate.

Simbolul Al se separă printr-un spaţiu liber de restul simbolizării.

Dacă se consideră că în simbolizare sunt necesare câteva elemente de aliere, acestea se indică în ordinea descrescătoare a conţinutului lor nominal.

Exemplu: EN AW – 6061 [Al Mg1SiCu]

Dacă aceste conţinuturi sunt egale, elementele de aliere se indică în ordinea alfabetică a simbolurilor.

Exemplu: EN AW – 2011 [Al Cu6BiPb]

Simbolurile chimice pentru elementele de aliere trebuie limitate la patru elemente.

Exemplu: EN AW – 7050[Al Zn6CuMgZr]

In cazul aliajelor cu compoziţii similare, pentru deosebirea lor, trebuie să se utilizeze simboluri suplimentare. Astfel, elementul principal de aliere se evidenţiază prin conţinutul nominal (mediu) rotunjit la cel mai apropiat întreg sau, dacă este necesar, la valoarea cea mai apropiată de 5 / 10 sau, pentru conţinuturi mai mici de 1 %, la valoarea cea mai apropiată de 1 / 10.

Exemplu: EN AW – 5251 [Al Mg2]

Exemplu: EN AW – 5052 [Al Mg2,5]

Exemplu: EN AW – 6063 [Al Mg0,7Si]

Elementele de aliere secundare se evidenţiază prin conţinutul nominal (mediu) rotunjit la cel mai apropiat întreg sau, dacă este necesar, la valoarea cea mai apropiată de 5 / 10 sau, pentru conţinuturi mai mici de 1 %, la valoarea cea mai apropiată de 1 / 10.

Exemplu: EN AW – 3103 [Al Mn2]

Exemplu: EN AW – 3005 [Al Mn1Mg0,5]

Exemplu: EN AW – 3004 [Al Mn1Mg1]

Dacă precizările menţionate mai sus nu sunt suficiente pentru diferenţierea aliajelor, se utilizează un sufix: (A), (B), (C) etc., primul aliaj propus nu are sufix. Acest sufix este scris între paranteze pentru a nu fi confundat cu simbolurile chimice.

Exemplu: EN AW – 2014 [Al Cu4SiMg]

Exemplu: EN AW – 2014 [Al Cu4SiMg(A)]

Simbolizarea stărilor aluminiului şi ale aliajelor deformabile pe bază de aluminiu este dată de de Standardul Român SR EN 515-1:1994, care este identic cu Standardul European EN 515-1:1994.

Simbolizarea stărilor se bazează pe succesiunea tratamentelor de bază utilizate pentru producerea diferitelor stări. Simbolizarea stărilor urmează simbolizării aliajului, fiind separate printr-o cratimă.

Simbolizarea stărilor de bază se face prin litere. Dacă sunt necesare mai multe subdiviziuni ale stărilor de bază, acestea sunt indicate prin una sau mai multe cifre şi urmează literei stării de bază.

Simbolurile stărilor de bază sunt următoarele:

-F (brut de fabricaţie): pentru produsele rezultate in urma procedeului de prelucrare la cald, la care nu se execută nici un control special privind condiţiile termice sau ecruisarea;

-O (recopt): pentru produsele supuse recoacerii, destinate obţinerii stării cu rezistenţa cea mai scăzută. Starea O poate fi urmată de o cifră diferită de zero;

-H (ecruisat): pentru produsele supuse unei deformări la rece după recoacere (sau după deformarea la cald) , sau unei combinații de deformare la rece şi o recoacere parțială sau o stabilizare pentru obținerea caracteristicilor mecanice dorite. Litera H este întotdeauna urmată de cel puțin două cifre: prima indică tipul tratamentului, iar a doua indică gradul de ecruisare (o a treia cifră se utilizează în unele cazuri pentru a identifica procedeele speciale de fabricare);

-W (pus în soluție): pentru produsele îmbătrânite spontan la temperatura ambiantă după tratamentul termic de punere în soluție. Astfel, se indică perioada de îmbătrânire naturală; de exemplu: W1/2h;

-T (tratat termic pentru obținerea unei stări diferite de F, O sau H) : pentru produsele tratate termic cu sau fără ecruisare suplimentară, pentru obținerea unei stări stabile. Starea T este întotdeauna urmată de una sau mai multe cifre care indică etapele specifice tratamentelor.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea O (recopt) sunt următoarele:

-O1 (recopt la temperatură ridicată şi răcit lent): pentru produsele deformabile care sunt tratate termic la aceiaşi parametri de temperatură şi timp, aproximativ egali cu cei prescrişi pentru tratamentul de punere în soluție şi răcite lent la temperatura ambiantă, cu scopul accentuării ecoului ultrasonic şi / sau asigurării stabilității dimensionale. Această simbolizare se aplică produselor care trebuie prelucrate de către utilizator, înainte de efectuarea tratamentului termic de punere în soluție. Limitele caracteristicilor mecanice nu sunt prtecizate.

-O2 (tratat termo-mecanic): pentru produsele deformabile supuse unui tratament termo-mecanic special. Se aplică produselor care trebuie supuse de către utilizator unei deformări superplastice înainte de tratamentul termic de punere în soluție;

-O3 (omogenizat): pentru sârma (semifabricat) sau pentru banda (turnată continuu sau laminată) supusă unui tratament de menținere la temperatură ridicată pentru eliminarea segregațiilor, aceasta îmbunătățind capacitatea de deformare şi / sau eficiența tratamentului de punere în soluție.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea H (ecruisat) sunt următoarele:

-prima cifră după H: precizează o combinație specifică de operații de bază, după cum urmează :

-H1x (ecruisat): pentru produsele ecruisate pentru obținerea rezistenței solicitate fără aplicarea unui tratament termic suplimentar;

-H2x (ecruisat şi parțial recopt): pentru produsele ecruisate peste gradul final stabilit, supuse unei recoaceri parțiale , având ca efect o reducere a rezistenței la valoarea prescrisă. Pentru aliajele care se înmoaie la temperatura ambiantă, stările H2x au aceeaşi rezistență minimă la tracțiune ca şi stările H3x. Pentru alte aliaje, stările H2x au aceeaşi rezistență minimă la tracțiune ca şi stările H1x corespunzătoare şi o alungire puțin mai mare:

-H3x (ecruisat şi stabilizat): pentru produsele ecruisate la care caracteristicilemecanice sunt stabilite printr-un termic la temperatură scăzută sauca rezultat al încălzirii în timpul fabricației. In general, stabilizarea îmbunătățeşte ductilitatea. Această simbolizare se aplică numai la aliajele care, în lipsa stabilizării se înmoaie progresiv prin îmbătrânire la temperatură ambiantă;

-H4x (ecruisat şi vopsit sau lăcuit): pentru produsele ecruisate care pot fi supuse unor recoaceri parțiale în timpul tratamentului de uscare care urmează după operația de vopsire sau lăcuire;

-a doua cifră după H: precizează gradul final de ecruisare, care se identifică cu valoarea minimă a rezistenței la tracțiune, după cum urmează:

-cifra 8: atribuită stărilor celor mai dure obținute în mod obișnuit. (Rezistența minimă la tracțiune a stărilor Hx8 poate fi determinată din tabelul 1 şi este în funcție de rezistența minimă la tracțiune în stare recoaptă);

-stările între O (recopt) şi Hx8 sunt simbolizate cu cifre de la 1 la 7 după cum urmează:

-cifra 4: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea O şi stările Hx8;

-cifra 2: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea O şi stările Hx4;

-cifra 6: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea Hx6 şi stările Hx8;

-cifrele 1,3,5 şi 7: atribuită similar stărilor intermediare între acelea care au fost definite anterior;

-cifra 9: atribuită stărilor a căror rezistență minimă la tracțiune depăşeşte cu 10 Mpa sau mai mult pe cea corespunzătoare stărilor Hx8.

Tabelul 1

Rezistența minimă la tracțiune în stare recoaptă (Mpa)	Creşterea rezistenței la tracțiune pentru atingerea stării Hx8 (Mpa)
până la 40	55
45 la 60	65
65 la 80	75
85 la 80	85
105 la 80	90
125 la 80	95
165 la 80	100
205 la 80	105
245 la 80	110
285 la 80	115
325 şi peste	120

-a treia cifră după H: precizează , atunci când este utilizată, o variantă a stării definite prin două cifre. Se utilizează atunci când gradul de ecruisare sau caracteristicile mecanice sau ambele diferă, dar sunt apropiate de aceea (sau acelea) ale stării H simbolizate cu doua cifre, la care se ataşează a treia cifră, sau în cazul în care este afectată semnificativ o altă caracteristică, după cum urmează:

-Hx11: atribuită produselor care, după recoacerea finală prezintă o reducere suficientă a ecruisării, asfel încât să nu fie considerate recoapte, dar insuficientă pentru a fi încadrată în starea Hx1;

-H112: atribuită produselor care pot să prezinte o durificare în urma unui procedeu de prelucrare la temperaturi ridicate sau printr-o limitare a gradului de deformare la rece controlată şi pentru care sunt precizate limitele caracteristicilor mecanice;

-H116: atribuită produselor obținute din aliaje ale grupei 5xxx, în care conținutul de magneziu este egal sau mai mare de 4 % şi pentru care sunt precizate limitele caracteristicilor mecanice şi rezistența la coroziune prin exfoliere;

-Hxx4: atribuită produselor sub formă de tablă sau benzi ondulate pornind de la starea Hxx corespunzătoare (Exemplu: o tablă ondulată fabricată pornind de la starea H42 este simbolizată H424);

-Hxx5: atribuită produselor sub formă de țevi sudate. In funcție de aliaj şi de geometria țevii, limitele caracteristicilor mecanice pot fi diferite de acelea ale stării corespunzătoare pentru bandă.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea T (tratat termic pentru obținerea unei stări diferite de F, O sau H) sunt următoarele :

-prima cifră după T : precizează secvențele specifice ale tratamentelor de bază. Cifrele de la 1 la 9 sunt atribuite după cum urmează :

-T1 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate şi îmbătrânit natural până la obținerea unei stări stabile): se aplică produselor care, după răcire, în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, nu sunt deformate la rece, sau pentru care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T2 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate, deformat la rece şi îmbătrânit natural până la obținerea unei stări stabile): se aplică produselor care, după răcire, în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, suferă o deformare la rece pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T3 (pus în soluție , deformat la rece şi îmbătrânit natural până la obținerea unei stări stabile): se aplică produselor care după punerea în soluție sunt deformate la rece pentru îmbunătățirea rezistenței la tracțiune sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T4 (pus în soluție şi îmbătrânit natural până la obținerea unei stări stabile): se aplică produselor care după tratamentul de punere în soluție nu sunt deformate la rece, sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

- T5 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate, deformat la rece şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care nu sunt deformate la rece după o răcire în urma aplicării procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare poate să nu se regăsească în limitele caracteristicilor mecanice;

-T6 (pus în soluție şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care nu sunt deformate la rece după tratamentul de punere în soluție sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare poate să nu se regăsească în limitele caracteristicilor mecanice;

-T7 (pus în soluție şi supraîmbătrânit / stabilizat): se aplică produselor care după tratamentul de punere în soluție sunt supuse unui tratament de îmbătrânire artificială în vederea obținerii unei valori peste punctul rezistenței maxime la tracțiune pentru a se asigura caracteristici semnificative, diferite de caracteristicile mecanice;

-T8 (pus în soluție, deformat la rece şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care sunt supuse unei deformări la rece pentru îmbunătățirea rezistenței la tracțiune sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T9 (pus în soluție, îmbătrânit artificial şi deformat la rece): se aplică produselor care sunt supuse unei deformări la rece pentru îmbunătățirea rezistenței la tracțiune.

Aceste simbolizări sunt sintetizate în tabelul 2.

Tabelul 2

Îmbătrânit	Deformat la rece	Răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate	Pus în soluție în cuptor
natural	nu	T1	T4
“	da	T2	T3
artificial	nu	T5	T6, T7
“	înainte de îmbătrânire		T7, T8
“	după îmbătrânire		T9

-cifre suplimentare după T: precizează respectiv una sau mai multe situații, după cum urmează:

-tratamentul de punere în soluție şi/sau tratamentul de precipitare ;

-gradul de deformare la rece după tratamentul de punere în soluție ;

-operația de detensionare.

Stărilor de detensionare ale produselor deformabile le sunt atribuite următoarele cifre suplimentare specifice:

-în cazul detensionării prin întindere:

-Tx51sauTxx51: se aplică tablelor, tablelor groase, barelor laminate sau finisate la rece, semifabricatelor forjate liber sau în matriță, care după punere în soluție sau după răcire în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate. Produsele nu sunt supuse dresării după întindere. Deformarea remanentă admisă este următoarea :

-tablă groasă : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _1,5…3%

-tablă: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 0,5…3%

-bară laminată sau finisată la rece _ _ _ _ _1…5%

-semifabricat forjat liber sau în matriță _ __1…5%

-Tx510 sau Txx510: se aplică barelor, profilelor şi țevilor care, după tratamentul de punere în soluție sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate.

Produsele nu sunt supuse dresării după întindere. Deformarea remanentă admisă este următoarea:

-bare, profile şi țevi extrudate _ _ _ _ _ _ _ _1…3%

-țevi trase _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _0,5…3%

Tx511 sau Txx511: se aplică barelor, profilelor şi țevilor care, după tratamentul de punere în soluție sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate. Produsele pot suferi o uşoară dresare după intindere, pentru a se încadra în toleranțele standadizate.

Deformarea remanentă admisă este următoarea :

-bare, profile şi ţevi extrudate _ _ _ _ _ _ _ _1…3%

-ţevi trase _0,5…3%

-în cazul detensionării prin compresiune:

-Tx52sauTxx52: se aplică produselor care, după tratamentul de punere în soluţie, sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, sunt detensionate prin compresiune pentru a prezenta o deformare remanentă de1…3%;

-în cazul detensionării prin întindere şi compresiune combinată :

-Tx54sauTxx54: se aplică produselor matriţate care sunt detensionate prin lovituri repetate la rece, intr-o matriţă la cote finale .

Cifra 2 ca a doua cifră după T4 sau T6 este utilizată în cazul verificării materialului tratat termic , pornind de la starea recopt (O1, O2 etc) sau de la starea F. Aceasta se poate aplica şi la produsele tratate termic pornind de la orice stare precizată de utilizator, atunci când prin acest tratament termic rezultă caracteristici mecanice corespunzătoare acestei stări, după cum urmează :

-T42: pus in soluţie pornind de la starea recopt (O1, O2 etc.) sau de la starea F şi îmbătrânit natural până la obţinerea unei stări stabile;

-T62: pus in soluţie pornind de la starea recopt (O1, O2 etc.) sau de la starea F şi îmbătrânit natural.

Variante ale stărilor de tipul T7 se aplică produselor care sunt supraîmbătrânite artificial pentru ca:

-să se îmbunătăţească o caracteristică cum ar fi rezistenţa la coroziune sub tensiune, reziliența, rezistenţa la coroziune prin exfoliere ;

-să se obţină un compromis favorabil între caracteristicile menţionate şi rezistenţa la tracţiune.

Aceste variante sunt următoarele:

-T79: supraîmbătrânire foarte limitată;

-T76: supraîmbătrânire limitată pentru obţinerea rezistenţei maxime la tracţiune comparabilă cu o bună rezistenţă la coroziune prin exfoliere;

-T74: supraîmbătrânire limitată între T73 şi T76, pentru obţinerea unei valori acceptabile ale rezistenţei la tracţiune comparabilă cu o bună rezistenţă la coroziune prin exfoliere;

-T73: supraîmbătrânire completă pentru obţinerea celei mai bune rezistenţe la coroziune sub tensiune.

A.III.2.Simbolizarea aluminiului şi a aliajelor turnate pe bază de aluminiu

Sistemele de simbolizare pentru aluminiu şi aliajele turnate pe bază de aluminiu sunt următoarele:

-simbolizarea numerică;

-simbolizarea bazată pe simbolurile chimice ;

Simbolizarea numerică a aluminiului şi aliajelor turnate pe bază de aluminiu va fi dată de Standardul Român SR EN 1780-1:2000

Această simbolizare se constituie succesiv din:

-prefixul EN urmat de un spațiu;

-litera A care reprezintă aluminiu;

-litera C care reprezintă produse obținute prin turnare (casting);

-o liniuță;

-cinci cifre care reprezintă compoziția chimică. Primele două cifre indică grupa de aliaje şi ultimele trei cifre indică compoziția chimică.

Prima cifră din cele cinci corespunde aceloraşi grupe ca şi pentru aliajule deformabile şi anume:

-aluminiu minimum 99,00 % _ 1;

-aliaje de aluminiu grupate după principalele elemente de aliere :

-cupru _ 2;

-mangan _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 3;

-siliciu _4;

-magneziu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 5;

-magneziu şi siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 6;

-zinc _ 7;

-alte elemente _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _8;

-serii neuzuale _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 9.

Conform standardului menționat anterior, un element de aliere se defineşte ca orice element care se adaugă intenționat în aliaj, pentru orice scop cu excepția finisării granulației şi pentru care se precizează limitele maxime şi minime.

Variantele naționale se identifică printr-o serie de litere care urmează după cele patru cifre. Seria de litere se atribuie în ordine alfabetică, pornind de la A pentru prima variantă națională înregistrată, dar trebuie omise literele I, O şi Q.

Simbolizarea bazată pe simbolurile chimice va fi dată de Standardul Român SR EN 1780-2:2001.

Simbolurile chimice sunt urmate de obicei de numere care indică puritatea aluminiului sau conținutul nominal al elementului considerat.

In general, toate simbolizările corespunzătoare acestei codificări trebuie scrise între paranteze drepte şi urmează după simbolizarea cu patru cifre.

Dacă, în mod excepțional se utilizează numai simbolizarea bazată pe simboluri chimice, atunci aceasta trebuie să aibă prefixul EN urmat de un spațiu liber şi apoi de litera A care reprezintă aluminiu şi de litera C, de identificare a produselor turnate. Litera C se separă de simbolurile următoare printr-o cratimă.

Simbolizările pentru aluminiul nealiat turnat constau în simbolul chimic Al urmat de procentul de puritate exprimat prin una sau mai sau mai multe zecimale, după necesități.

Simbolul Al se separă printr-un spațiu liber de procentul de puritate.

Dacă se adaugă un element într-un conținut scăzut, simbolul corespunzător acestui element se scrie fără spațiu liber după procentul de puritate.

Un aliaj se simbolizează prin simbolul Al urmat de simbolul principalului element (sau elemente) de aliere.

Aceste simboluri sunt urmate în mod uzual de numere care exprimă conținutul în procente de masă al elementelor considerate.

Dacă se consideră că în simbolizare sunt necesare câteva elemente de aliere, acestea se indică în ordinea descrescătoare a conținutului lor nominal.

Dacă aceste conținuturi sunt egale, elementele de aliere se indică în ordinea alfabetică a simbolurilor.

Simbolurile chimice pentru elementele de aliere trebuie limitate la patru elemente .

In cazul aliajelor cu compoziții similare, pentru deosebirea lor, trebuie să se utilizeze simboluri suplimentare.

Exemple de aliaje de aluminiu turnate sunt date în tabelul 3.

Tabelul 3

Simbolizare numerică	Simbolizare cu simboluri chimice
EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi
EN AC-41000	EN AC- AlSi2 MgTi
EN AC-42000	EN AC- AlSi7 Mg
EN AC-42100	EN AC- AlSi7 Mg0,3
EN AC-42200	EN AC- Al Si7 Mg0,6
EN AC-44000	EN AC- Al Si11
EN AC-45200	EN AC- Al Si5Cu3Mn
EN AC-51000	EN AC- Al Mg3
EN AC-71000	EN AC- Al Zn5Mg

Simbolizarea stărilor aluminiului şi ale aliajelor turnate pe bază de aluminiu va fi dată de de Standardul Român SR EN 1706:2001.

Stările principale ale aluminiului şi ale aliajelor turnate pe bază de aluminiu sunt următoarele (cu observația că în standardul respectiv pot apare uşoare modificări):

-F : brut de turnare;

-O : recopt;

-T : tratat termic pentru obținerea unei stări diferite de F şi O;

-T1: răcire controlată după solidificare şi îmbătrânire naturală;

-T4: pus în soluție şi îmbătrânire naturală (maturare);

-T5: răcire controlată după solidificare şi pus în soluție şi imbătrânire artificială / subimbătrânire artificială (stabilizare);

-T6: pus în soluție şi imbătrânire artificială maximă;

-T7: pus în soluție şi subimbătrânire artificială (stabilizare).

Exemple de mărci de aluminiu şi de aliajele sale conform unor SR EN –uri sunt date în tabelul 4, iar conform unor STAS – uri în tabelul 5.

Tabelul 4. Exemple de mărci de aluminiu şi de aliaje pe bază de aluminiu conform EN 573-1: 1995

Nr. crt.	Marca aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu	Categoria aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu
1	EN AW – 1100 [Al 99,0 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,00 %)
2	EN AW – 1070 [Al 99,7 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,70 %)
3	EN AW – 1199 [Al 99,99 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,99 %)
4	EN AW – 2 011[AlCu6BiPb] (A = aluminium; W = wrought)	Aliaj de aluminiu cu cupru, deformabil (Cu= 6 %; Bi <1 %; Pb <1 %) (Cuprul este elementul principal de aliere; conţinuturile de bismut şi de fier sunt date în ordine alfabetică)
5	EN AW – 7050 [AlZn6CuMgZr]	Aliaj de aluminiu cu zinc, deformabil (Zn = 6 %; Cu <1 %; Mg <1 %; Zr <1 %) (Cuprul este elementul principal de aliere; simbolurile chimice sunt limitate la patru elemente de aliere)
6	EN AC – 21000 [AlCu4MgTi] (A = aluminium; C= cast)	Aliaj de aluminiu cu cupru, turnat (Cu = 4 %; Mg <1 %; Ti <1 %)
7	EN AC – 44000 [AlSi11]	Aliaj de aluminiu cu siliciu, turnat (Si = 11%)

Tabelul 5. Exemple de mărci de aluminiu şi de aliaje pe bază de aluminiu conform unor STAS- uri

Nr. crt.	Marca aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu	STAS	Categoria aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu
1	Al 99,8	7607 / 1-86	Aluminiu tehnic primar (Al = 99,8 %)
2	Al E	7607 / 1-86	Aluminiu tehnic primar, destinat conductorilor liniilor aeriene pentru transportul energiei electrice (Al ≥ 99,5 %)
3	Al 99,99	7607 / 1-86	Aluminiu rafinat electrolitic (Al ≥ 99,99 %)
4	AlMnCu	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Mn = 1 %; Cu < 1 %)
5	AlMg3	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Mg = 1 %)
6	AlCu4MgMn	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Cu = 4 %; Mg <1 %; Mn <1 %)
7	ATNCu4	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Cu = 4 %)
8	ATNSi12Mg	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Si= 12 %, Mg <1 %)
9	ATCSi12Mg	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat în cochilă (Si= 12 %; Mg <1 %)
10	ATPSi12Mg	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat sub presiune (Si= 12 %; Mg <1 %)
11	ATNZn5Mg	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Zn= 5 %; Mg <1 %)
12	ATPZn5Mg	201 / 1 – 80	Aliaj de aluminiu turnat în cochilă (Zn= 5 %; Mg <1 %)

A.IV. Reprezentări schematice ale unor structuri de aluminiu şi aliajele sale

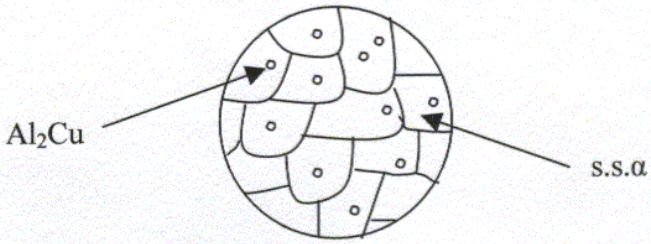


Fig.3
Reprezentarea schematică a structurii
duraluminiului EN AW-2117 [AlCu4Mg] durificat structural
(după atac cu un reactiv format din 0,5 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5 ml HNO_3 şi 95,5% apă)

Fig.4
Reprezentarea schematică a structurii
siluminiului duraluminiului EN AC-44000 [AlSi11] netratat termic
(după atac cu un reactiv format din 0,5 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5 ml HNO_3 şi 95,5% apă)

B. Modul de lucru

Se analizează microscopic materialele metalice afectate acestei lucrări de laborator şi se desenează schematic într-un cerc cu diamterul de 30 mm porţiunea reprezentativă de pe suprafaţa fiecărui material utilizat.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecţia muncii în vigoare.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 7
MICROSCOPUL METALOGRAFIC

A. Descriere

A.1. Prametrii microscopului

Microscopul metalografic este un aparat optico – mecanic complex destinat observării în lumină reflectată.

Ele permite observarea directă în:

-câmp luminos;

-câmp întunecat;

-lumină polarizată.

În cele ce urmează se vor face referiri la microscopul metalografic de tip MC-6 aflat în dotarea laboratorului de Ştiinţa şi ingineria materialelor.

Parametrii microscopului în echipamentul de bază sunt următorii:

-grosisment: în trepte 50,4 x –1250 x

-obiective pentru lumină reflectată tip acromat:

-6,3 x

-16 x

-40 x

-100 x

-oculare: Huygens:

-8 x

-12,5 x

-cursa mişcării:

-rapide: 25 mm

-fine: 1,8 mm

-valoarea diviziunii pe tamburul mişcării fine: 0,001 mm

-reglarea ametropiei ochiului: ± 5 dpt

-distanţa interpupilară: 55 – 75 mm

-dimensiunile mesei plane: $Ø_{ext}$ = 132 mm

-deplasarea probei:

-posibilitate: translaţie

-cursa utilă: 16 mm

-cap: tip revolver

-binocular: 1 x

-dispozitiv de polarizare

-dispozitiv de iluminare:

-6 V

-30 W

-dimensiuni de gabarit: 250 x 470 x 580 mm

-masa netă: 21 kg

A.2. Schema funcţională

Metoda iluminării prin reflexie este impusă de opacitatea probei metalografice.

Pentru observarea în câmp luminos microscopul MC-6 utilizează sistemul de iluminare Köhler la care lumina vine de la o sursă, fiind apoi deviată printr-un sistem optic la 45^o prin obiectiv spre proba metalografică (fig.1).

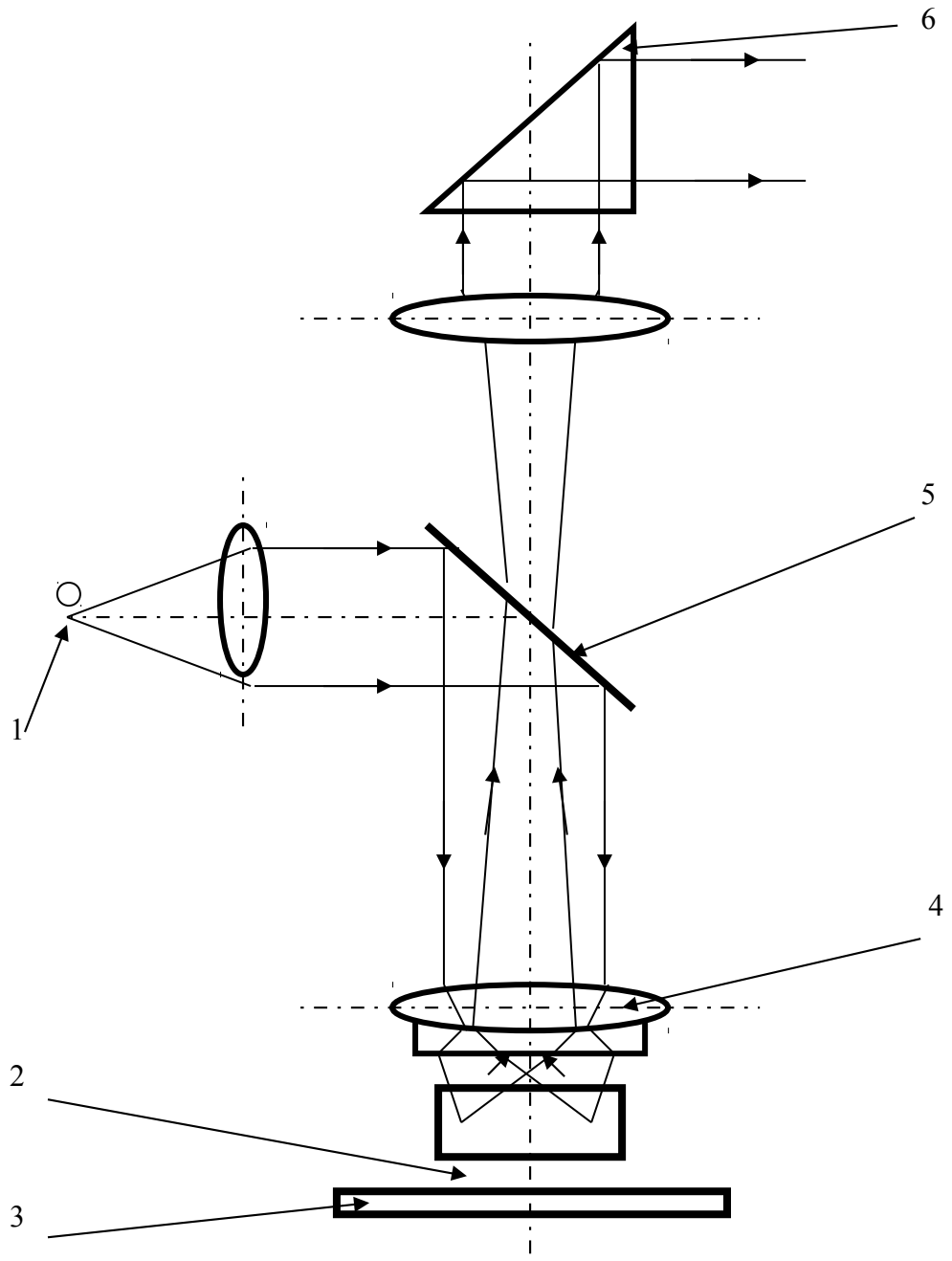


Fig. 1
Schema iluminării în câmp luminos:
1. sursă de lumină; 2. probă metalografică; 3. masă;
4. obiectiv; 5. lentilă semitransparentă; 6. ocular.

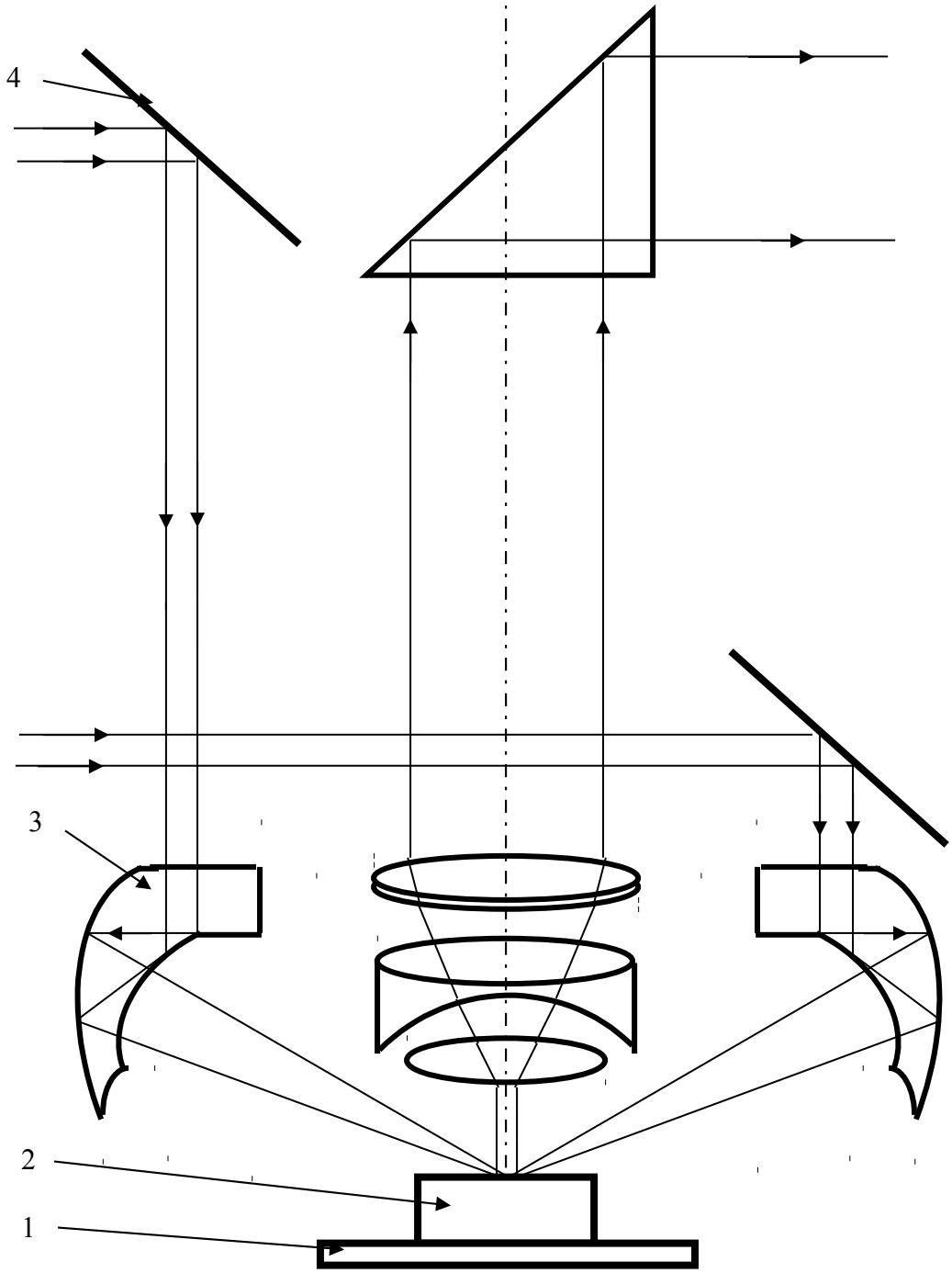


Fig. 2
Schema iluminării în câmp întunecat:
1. masa plană; 2. probă metalografică; 3. lentilă convex – concavă;
4. lentilă semitransparentă.

În cazul iluminării în câmp întunecat cu lumină reflectată se utilizează, de cele mai multe ori, iluminarea inelară. În acest sens, se aşează în calea razelor incidente venite de la sursa luminoasă a unei suprafeţe eliptice care reflectă la 90^o o porţiune inelară din fascicolul de lumină pe o oglindă conveză, apoi pe o oglidă concavă de unde ajung concentrat pe suprafaţa probei metalografice (fig.2).

A.3. Modul de operare

Pentru a se obține o imagine corectă se procedează astfel:
-se reglează iluminatul:
-se aduce în stare de funcționare sursa de iluminare (6 V/ 30 W);
-se alege un obiectiv cu mărire mică pentru reglare (16 x) ți se montează pe capul revolver;
-se fixează proba metalografică cu suprafața de analizat în poziţie orizontală;
-se pune la punct imaginea prin acționarea butoanelor mişcărilor rapide şi fine;
-pentru realizarea diferitelor grosismente se schimbă obiectivelede pe capul revolver.

Notă: Când se culisează proba metalografică este necesar ca să se coboare masa microscopului pentru a se evita lovirea obiectivului.

B. Modul de lucru

Se identifică părțile componente principale ale microscopului. Se desenează în schemele de iluminare în câmp luminos şi întunecat. Se desenează schematic într-un cerc cu diametrul de 30 mm porțiunea reprezentativă de pe suprafața unor probe la alegere.

Pe parcursul lucrării se are în vedere respectarea normelor şi regulilor de protecția muncii în vigoare.

Anexa 1. Proprietățile mecanice ale materialelor metalice

A.1.1. Proprietățile mecanice ale oțelurilor

A.1.1.1. Oțeluri carbon de uz general (STAS 500 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OL30	Laminat	-	≥310	20	-
2	OL32	Laminat	170	310-390	33	-
3	OL34	Laminat	200	330-410	31	-
4	OL37	Laminat	220	360-440	25	59
5	OL42	Laminat	250	410-490	22	59
6	OL44	Laminat	270	430-540	25	59
7	OL50	Laminat	280	490-610	21	-
8	OL52	Laminat	340	510-630	22	59
9	OL60	Laminat	320	590-710	16	-
10	OL70	Laminat	350	≥690	11	-

A.1.1.2. Oțeluri cu granulație fină (STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OCS285	Laminat	285	430-540	23	48
2	OCS355	Laminat	355	510-610	20	48
3	X42	Laminat	290	410	21	-
4	X46	Laminat	320	430	20	-
5	X52	Laminat	360	450	19	-
6	X56	Laminat	390	490	18	-
7	X60	Laminat	410	520	17	-
8	L410	Laminat	412	529-686	20	-
9	A	Laminat	207	331	25	-
10	B	Laminat	241	≥413	20	-

A.1.1.3. Oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziunea atmosferică (STAS 500 / 3-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	RCA31	Laminat	240	370-440	24	7
2	RCB52	Laminat	350	510-630	20	20

A.1.1.4. Oțeluri pentru armarea betonului (STAS 438 / 1-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OB37	Laminat	255	360	25	-
2	PC52	Laminat	360	510	20	-
3	PC60	Laminat	430	590	18	-
4	STNB	Laminat	460	510-610	6-8	-

A.1.1.5. Oțeluri pentru precompimarea betonului (STAS 6482 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	SPB I	Tras la rece	1500	1570-2300	2	-
2	SPB II	Tras la rece	1500	1570-2300	2	-

A.1.1.6. Oțeluri pentru construcții navale (STAS 8324-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A	Laminat	-	-	-	-
2	D	Laminat	235	400-490	22	27
3	E	Laminat	-	-	-	-
4	A32	Laminat	-	-	-	-
5	D32	Laminat	315	470-590	21	31
6	E32	Laminat	-	-	-	-
7	A36	Laminat	-	-	-	-
8	D36	Laminat	355	490-620	21	34
9	E36	Laminat	-	-	-	-
10	A40	Laminat	-	-	-	-
11	D40	Laminat	390	530-650	20	39
12	E40	Laminat	-	-	-	-

A.1.1.7. Oțeluri pentru țevi fără sudură de uz general (STAS 8183-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35	Laminat	230	340	26	-
2	OLT45	Laminat	250	440	21	-
3	OLT65	Normalizat	370	640	16	-

A.1.1.8. Oțeluri pentru țevi fără sudură destinate industriei petroliere (STAS 8185-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	15VMn11	Normalizat	350	450	16	-
2	20VMn12	Normalizat	410	610	14	-
3	31VMn12	Normalizat	610	780	12	-
4	35Mn14	Îmbunătățit	530	720	16	80
5	43MoMn16	Normalizat	550	700	15	80
6	33MoCr11	Îmbunătățit	690	880	12	80
7	41 MoCr11	Îmbunătățit	740	930	11	80
8	40VMoMnCr7	Normalizat	690	780	12	60
9	34MoCrNi15	Îmbunătățit	880	1080	11	80
10	35VMoMn14	Îmbunătățit	860	930	11	-

A.1.1.9. Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate (STAS 8184-87; 11523-87)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35K	Normalizat	235	350-450	26	60
2	OLT45K	Normalizat	255	450-550	21	60
3	16Mo3	Normalizat	270	430-520	19	60
4	14MnCr10	Normalizat	290	430-550	18	60
5	12MnCr22	Normalizat	280	470-640	20	60
6	12MnCr50	Normalizat	175	420-550	21	60
		Îmbunătățit	275	520-640	20	-
7	12MnCr90	Normalizat	205	410-540	21	60
		Îmbunătățit	395	590-740	20	-
8	12VMnCr10	Normalizat	255	470-640	21	98
9	20VNiMnCr120	Normalizat	490	690-830	16	60

A.1.1.10. Oţeluri pentru ţevi utilizate la temperaturi scăzute (STAS 10382-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35R	Normalizat	225	340-440	26	-
2	OLT45R	Normalizat	255	440-540	21	-
3	10Ni35	Normalizat	345	440-610	20	80

A.1.1.11. Oţeluri pentru cazane şi recipienţi sub presiune pentru temperaturi ambiante şi ridicate (STAS 2883 / 3-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	K410	Normalizat	225	400-490	22	69
2	K460	Normalizat	285	460-550	20	59
3	K510	Normalizat	325	510-610	19	59
4	16Mo3	Normalizat	270	430-520	19	60
5	14MoCr10	Normalizat	290	430-550	18	60
6	16Mo5	Normalizat	320	430-550	18	60
7	12MoCr22	Normalizat	280	470-640	20	60
8	12MnCr50	Normalizat	175	420-550	21	60
		Îmbunătăţit	275	520-640	20	-
9	12VMnCr10	Normalizat	255	470-640	21	98

A.1.1.12. Oţeluri pentru cazane şi recipienţi sub presiune pentru temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 2883 / 2-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	R37	Normalizat	235	360-440	24	-
2	R44	Normalizat	285	430-540	23	-
3	R52	Normalizat	350	510-610	20	-

A.1.1.13. Oţeluri pentru table groase pentru recipienţi sub presiune pentru temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 11502-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	9 SiMn16	Normalizat	325	$\geq$440	19	59
2	RV510	Normalizat	350	510-610	20	63
3	16SiMn10	Normalizat	310	$\geq$450	19	59
4	10Ni35	Normalizat	345	440-610	20	80

A.1.1.14. Oţeluri pentru table şi benzi ambutisate (STAS 9485-80; 11501-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A1	Laminat	-	270-410	26	-
2	A2	Laminat	260	270-390	30	-
3	A3	Laminat	240	270-370	34	-
4	A21	Laminat	210	340-440	25	88

A.1.1.15. Oţeluri pentru table şi benzi caroserii auto (STAS 10318-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A4	Laminat	-	270-410	30	-
2	A5	Laminat	220	270-370	36	-

A.1.1.16. Oţeluri pentru table mijlocii şi groase decapate (STAS 11509-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A30K	Laminat	196	274	28	-

A.1.1.17. Oţeluri pentru table subţiri şi benzi late (STAS 9724-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	B1	Normalizat	-	250-490	-	-
2	B2	Normalizat	170	270-430	23	-

A.1.1.18. Oţeluri îmbunătăţite cu limită de curgere ridicată (STAS 523-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	C420	Îmbunătăţit	420	530-680	19	-
2	C440	Îmbunătăţit	440	560-730	17	-
3	C500	Îmbunătăţit	500	620-770	17	-
4	C620	Îmbunătăţit	620	740-890	16	-
5	C690A	Îmbunătăţit	690	760-895	16	-
6	C690B	Îmbunătăţit	690	795-930	16	-

A.1.1.19. Oţeluri pentru şine de cale ferată (STAS 1900-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OS70	Laminat	-	680-830	14	-
2	OS90A	Laminat	-	880-1030	10	-
3	OS90B	Laminat	-	880-1030	10	-

A.1.1.20. Oţeluri pentru osii (STAS 1947-90)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OCO1	Normalizat	320	550-650	22	50
		Îmbunătăţit	350	550-700	25	80

A.1.1.21. Oţeluri carbon de calitate (STAS 880-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC8	Normalizat	196	324	33	-
2	OLC10	Normalizat	206	321	31	-
3	OLC15	Normalizat	225	373	27	-
4	OLC20	Normalizat	250	410	25	-
		Îmbunătăţit	350	550-700	20	76
5	OLC25	Normalizat	270	450	24	-
		Îmbunătăţit	370	550	700	19
6	OLC30	Normalizat	290	490	21	-
		Îmbunătăţit	400	600-750	18	50
7	OLC35	Normalizat	310	530	21	-
		Îmbunătăţit	430	630-780	17	40
8	OLC40	Normalizat	320	570	19	-
		Îmbunătăţit	460	650-800	16	35
9	OLC45	Normalizat	360	610	18	-
		Îmbunătăţit	500	700-850	14	30
10	OLC50	Normalizat	370	640	16	-
		Îmbunătăţit	520	750-900	13	-
11	OLC55	Normalizat	390	670	14	-
		Îmbunătăţit	550	900-950	12	-

A.1.1.22. Oţeluri pentru table groase pentru viaducte şi poduri de şosea (STAS 12187-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OL37EP	Normalizat	230	360-440	24	69
2	OL52EP	Normalizat	340	510	630	20

A.1.1.23. Oţeluri pentru prelucrarea pe maşini-unelte automate (STAS 1350-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	AUT9	Laminat	210	360-510	23	-
		Tras la rece	400	460-800	7	-
2	AUT12	Laminat	220	410-560	22	40
		Tras la rece	440	510-820	7	-
3	AUT20	Laminat	-	510-820	15	-
		Tras la rece	460	520-840	2	-

A.1.1.24. Oţeluri pentru roţi dinţate (STAS 11512-91)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	18MoNiCr17		780	1080-1430	8	100
2	19CrNi10		930	1180-1520	7	70

A.1.1.25. Oţeluri pentru rulmenţi (STAS 11250-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	RUL1	Recopt	-	600-750	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	30
2	RUL2	Recopt	-	600-780	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	35
3	RUL3V	Recopt	-	600-780	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	35

A.1.1.26. Oţeluri aliate pentru tratamente termice (STAS 791-88; 11513-88; 7450-89; 11506-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/ m^2	A %	KCU J/cm^2
1	15Cr9	Călit şi revenire joasă	495	685	12	69
2	40Cr10	Îmbunătăţit	780	980	10	53
3	40BCr10	Îmbunătăţit	735	930	12	88
4	17MnCr10	Călit şi revenire joasă	735	930	12	88
5	18 MnCr11	Călit şi revenire joasă	735	880	10	-
6	19MoCr11	Călit şi revenire joasă	750	1050-1400	8	50
7	17CrNi16	Călit şi revenire joasă	685	960-1270	8	-
8	18CrNi20	Călit şi revenire joasă	780	1175-1420	7	-
9	20MoNi35	Călit şi revenire joasă	830	980	9	88
10	20MnCrSi11	Îmbunătăţit	635	780	12	68
11	MoCrNi14	Călit şi revenire joasă	850	1200-1550	8	50
12	26MoCr11	Îmbunătăţit	700	900-1100	12	-
13	20MnCr12	Călit şi revenire joasă	735	1080-1370	7	-
14	20TiMnCr12	Călit şi revenire joasă	735	980	9	78
15	21MoMnCr12	Călit şi revenire joasă	880	1080	8	68
16	25MnSi14	Îmbunătăţit	830	1080	10	58
17	28TiMnCr12	Călit şi revenire joasă	830	1470	9	58
18	25 MnCrSi11	Îmbunătăţit	1275	1080	10	58
19	31MnCrSi11	Îmbunătăţit	830	1080	10	44
20	34MoCr11	Îmbunătăţit	830	1000-1200	11	-
21	34MoCrNi16	Îmbunătăţit	800	1200-1400	9	-
22	30MoCrNi20	Îmbunătăţit	1000	1250-1450	9	-
23	35MnSi13	Îmbunătăţit	1050	880	15	68
24	36MnCrSi13	Călit şi revenire joasă	680	1620	9	39
25	39MoAlCr15	Îmbunătăţit	1275	980	14	88
26	20Mn10	Îmbunătăţit	830	740-880	12	40
27	40CrNi12	Îmbunătăţit	510	980	11	68
28	42MoCr11	Îmbunătăţit	780	1100-1300	10	-
29	35Mn16	Normalizat	-	620	13	-
		Îmbunătăţit	-	740-930	12	39
30	40Mn10	Îmbunătăţit	640	880-1070	12	40
31	51VMnCr11	Îmbunătăţit	900	1100-1300	9	-
32	65Mn10	Recopt	800	1000	8	-

A.1.1.27. Oţeluri pentru autoturisme (STAS 11500 / 2-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC38	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	660	805-980	10	80
2	OLC38B	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	785	880-1130	11	70
3	OLC43	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	690	880	1050	9
4	37Cr5	Îmbunătățit	780	880-1130	11	70
5	32Cr10	Călit şi revenire joasă	1320	1620-1860	5	30
6	37Cr10	Îmbunătățit	730	880-1080	11	130
7	60CrMnSi17A	Călit şi revenire medie	1470	1670-1910	5	25
8	13MoCr11	Călit	780	1040-1220	7	100
9	17MoCr11	Călit	920	1245-1470	6,5	80
10	19MoCr11	Călit	1019	1342-1568	6	70
11	28MoCr11	Călit	1225	1520-1715	7	50
12	31MoCr11	Călit	1320	1620-1860	6	40
13	33MoCr11	Călit	1470	1710-1960	5,5	40
14	34MoCrNi40	Îmbunătățit	930	1080-1370	9	60

A.1.1.28. Oțeluri pentru sape de foraj şi transmisii hidromecanice (STAS 11504-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	17MoNi35	Călit şi revenire joasă	780	981	10	100
2	20MoCrNi06	Călit şi revenire joasă	690	880	11	100
3	22MoCrNi05	Călit şi revenire joasă	800	1210	15	-

A.1.29. Oțeluri pentru arcuri (STAS 795-87; 11514-80; 3583-87; 8371-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC55A	Normalizat	880	1080	6	-
2	OLC65A	Normalizat	780	980	10	-
3	OLC70A	Normalizat	790	1080	9	-
4	OLC75A	Normalizat	880	1080	9	-
5	OLC85A	Normalizat	980	130	8	-
6	OLC90A	Normalizat	980	1130	7	-
7	OLC66S	Normalizat	780	980	10	-
8	40Si17A	Normalizat	980	1180	6	-
9	51Si17A	Normalizat	1080	1180	3	-
10	55Si17A	Normalizat	1080	1270	6	-
11	60Si15A	Normalizat	1270	1470	6	-
12	51VCr11A	Normalizat	1180	1320	6	-
13	60CrMnSi12A	Normalizat	1210	1370	7	-
14	65Si12A	Normalizat	1668	1864	5	-
15	40Cr130	Recopt	-	800	-	-
16	35MoCr165	Recopt	-	950	-	-
		Îmbunătățit	600	800-950	14	45
17	20MoCr165	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătățit	55	750-900	14	45
18	10TiNiCr180	Normalizat	-	390-590	30	-
19	10TiMoNiCr175	Normalizat	200	540	40	-

A.1.1.30. Oțeluri pentru organe de asamblare la temperaturi înalte sau joase (STAS 7450-89; 9382-82; 880-88; 11290-88; 11523-87, 10382-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC25AS	Îmbunătățit	300	490	20	98
2	OLC35AS	Îmbunătățit	350	580	19	68,5
3	OLC45AS	Îmbunătățit	410	660	16	58
4	26MoCr11A	Îmbunătățit	700	990-1100	12	-
5	21VMoCr12AS	Îmbunătățit	590	740	16	98
6	24VMoCr12AS	Îmbunătățit	590	740	16	98
7	34MoCr11AS	Îmbunătățit	800	1000-1200	11	-
8	42MoCr11AS	Îmbunătățit	900	1100-1300	10	-
9	20MoCr130AS	Îmbunătățit	550	750-900	14	40
10	10Ni35AS	Normalizat	345	440-610	20	80
11	13CrNi35AS	Îmbunătățit	540	740	14	118
12	20MnB5AS	Îmbunătățit	490	640	15	88,5

A.1.1.31. Oțeluri termorezistente pentru organe de asamblare (STAS 11522-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	12MoCr90	Normalizat	343	588-735	20	-
2	24VMoCr12	Normalizat	539	686-833	17	108

A.1.1.32. Oțeluri inoxidabile (STAS 3583-87)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	7AlCr130	Recopt	250	400-600	80	-
		Îmbunătățit	400	550-700	18	-
2	8Cr170	Recopt	270	450-600	20	-
3	8TiCr170	Recopt	270	450-600	20	-
4	2TiMoCr170	Recopt	275	412	20	-
5	1 MoCr260	Recopt	245	412	22	-
6	10Cr130	Recopt	250	450-650	20	170
		Îmbunătățit	420	600-800	18	100
7	20Cr130	Recopt	-	740	-	-
		Îmbunătățit	450	650-800	14	80
8	30Cr130	Recopt	-	780	-	-
		Îmbunătățit	600	800-1000	11	-
9	40Cr130	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătățit	-	500	-	-
10	20MoCr130	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătățit	550	750-900	14	40
11	45VMoCr145	Recopt	-	900	-	-
12	90VMoCr180	Recopt	-	900	-	-
13	90Cr180	Recopt	-	900	-	-
14	22NiCr170	Recopt	-	950	-	-
		Îmbunătățit	550	750-950	14	50
15	2NiCr185	Călit	180	460-480	45	85
16	5NiCr180	Călit	195	500-700	45	85
17	10TiNiCr180	Călit	200	500-700	40	85
18	10TiMoNiCr175	Călit	210	500-700	35	85
19	12NNiMnCr180	Călit	300	640-830	40	-
20	2MoNiCr175	Călit	190	490-690	45	85
21	2NbNiCr250	Călit	215	480-680	40	-
22	20CuMoCrNi250	Călit	220	540-740	40	-

A.1.1.33. Oțeluri pentru supape de motoare (STAS 11311-88; 11524-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	40SiCr90	Îmbunătățit	700	900-1100	14	-
2	80SiNiCr200	Îmbunătățit	690	800-1120	6	-
3	80SiNiMoWCr150	Îmbunătățit	690	800-1120	14	-

A.1.1.34. Oțeluri refractare (STAS 11523-87)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	10AlCr70	Recopt	220	420-620	20	-
2	10AlCr180	Recopt	270	500-700	20	12
3	10AlCr240	Recopt	280	520-720	10	-
4	12TiAlCr180	Recopt	210	500-700	40	-
5	12NiCr250	Călit	210	500-700	35	-
6	15SiNiCr200	Călit	230	500-750	30	-
7	15SiNiCr250	Călit	230	500-700	30	-
8	10TiAlCrNi320	Călit	210	500-750	30	-
9	12SiNiCr360	Călit	230	550	800	30
10	40SiNiCr250	Călit	-	440	460	-
11	20VNiMoCr120	Îmbunătățit	490	690-830	16	-
12	20VNWiMoCr120	Îmbunătățit	590	780-930	14	-

A.1.1.35. Oțeluri carbon turnate în piese (STAS 600-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OT400	Recopt	200	390	20	50
2	OT450	Recopt	240	440	18	40
3	OT500	Recopt	490	15	35	138
4	OT600	Recopt	340	590	10	25
5	OT700	Recopt	410	690	6	-

A.1.1.36. Oțeluri aliate turnate în piese (STAS 1773-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T14VMoCrNi16	Normalizat şi revenit	640	780-980	10	29
		Îmbunătățit	780	830-1030	8	29
2	T20Mn14	Normalizat şi revenit	295	540-780	18	49
		Îmbunătățit	440	640-880	14	49
3	T26VSiMn14	Normalizat şi revenit	390	590-830	12	35
		Îmbunătățit	490	690	-830	11
4	T30MoCrNi14	Normalizat şi revenit	540	690-880	12	29
		Îmbunătățit	640	780-980	10	39
5	T30SiMn12	Normalizat şi revenit	345	590-830	14	29
		Îmbunătățit	390	640-880	14	49
6	T34MoCr09	Normalizat şi revenit	390	590-830	12	35
		Îmbunătățit	490	640-880	12	35
7	T35Mn14	Normalizat şi revenit	295	540-780	12	29
		Îmbunătățit	345	590-830	14	49
8	T35MoCrNi08	Normalizat şi revenit	440	640-880	15	29
		Îmbunătățit	540	740-930	15	49
9	T35SiCrMn11	Normalizat şi revenit	345	590-830	14	29
		Îmbunătățit	590	780-980	10	39
10	T40TiCrNi17	Normalizat şi revenit	540	690-880	17	29
		Îmbunătățit	640	780-980	10	39

A.1.1.37. Oțeluri aliate turnate pentru armături (STAS 9277-84)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OTA20	Normalizat	245	440	22	56
2	OTA30Mn13	Normalizat	410	620	16	50
3	OTA40Mn13	Normalizat	410	620	16	45
4	OTA17MoCr13	Normalizat	315	490	20	56
5	OTA23VMoCr120	Normalizat	590	690	15	35
6	OTA23VWMoCr120	Normalizat	590	690	15	35
7	OTA10NbMoNiCr170	Normalizat	225	620	20	70
8	OTA10TiMoNiCr170	Normalizat	225	620	20	70
9	OTA15Ni35	Normalizat	345	440-610	20	80

A.1.1.38. Oțeluri aliate turnate rezistente la temperaturi ridicate (STAS 12404-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T21	Normalizat şi revenit	250	450	22	49
2	T16Mo5	Normalizat şi revenit	250	450	22	39
3	T16MoCr11	Normalizat şi revenit	290	500	20	39
4	T14MoVCr6	Normalizat şi revenit	250	450	16	40
5	T21VMoCr10	Normalizat şi revenit	310	500	16	29
6	T17VMoCr14	Normalizat şi revenit	340	500	15	29
7	T17VMoCr12	Normalizat şi revenit	440	600	15	30
8	T15MoWVCr12	Normalizat şi revenit	370	540	16	39

A.1.1.39. Oțeluri aliate turnate refractare şi anticorozive (STAS 6855-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T20MoCr90	Recopt şi îmbunătățit	410	540	14	-
2	T15Cr130	Recopt şi îmbunătățit	390	550	15	-
3	T15Cr130	Recopt şi îmbunătățit	440	640	10	-
4	T22Cr135	Normalizat şi revenit	440	680-880	12	40
5	T15NiCr135	Normalizat şi revenit	295	490-690	15	80
6	T8MoNiCr125	Normalizat şi revenit	560	750-900	15	55
7	T15TiMoNiCr175	Îmbunătățit	185	490	20	-
8	T12NiCr210	Călit	350	560-760	22	60
9	T12TiNiCr210	Călit	350	560-760	12	20
10	T12MoNiCr210	Călit	350	560-760	22	60
11	T7NiCr180	Călit	180	440-640	25	80
12	T15NiCr180	Călit	180	440-640	20	50
13	T15TiNiCr180	Călit	180	440-640	20	50
14	T15MoNiCr180	Călit	220	440-640	30	80
15	T7MoNiCr180	Călit	180	440-640	30	45
16	T15TiNiCr180	Călit	200	440-640	20	-
17	T40SiCr180	Recopt	340	440	4	-
18	T40NiCr180	Recopt	340	440	2	-
19	T75Cr280	Recopt	290	390	-	-
20	T70MoCr280	Recopt	-	880	-	-
21	T35NiCr260	Călit	245	490	10	-
22	T25NiCr250	Călit	225	490	20	-
23	T20NiCr270	Călit	390	440	20	-
24	T35NiCr270	Călit	195	390	8	-
25	T15Cr170	Îmbunătățit	590	780	6	-
26	T15Cr280	Îmbunătățit	290	440	20	20
27	T6NiCr180	Îmbunătățit	190	440	25	-
28	T6MoNiCr180	Îmbunătățit	230	440	25	-
29	T10NiCr180	Îmbunătățit	230	490-590	20	-
30	T10MoNiCr180	Îmbunătățit	230	490-590	20	-
31	T15NiCr180	Îmbunătățit	240	490	20	-
32	T15MoNiCr180	Îmbunătățit	240	490	20	-
33	T60CuMoNiCr200	Îmbunătățit	190	540	30	-

A.1.1.40. Oțeluri aliate turnate rezistente la temperaturi scăzute (STAS 12403-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T15MoCrNi30R	Îmbunătățit	360	240	18	-
2	T9MoCrNi30R	Îmbunătățit	480	630	20	-
3	T15MnNi25R	Îmbunătățit	540	630	20	-
4	T15Ni35R	Îmbunătățit	240	470	18	-
5	T30Mn14R	Îmbunătățit	300	670	10	30

A.1.2. Proprietățile mecanice ale fontelor

A.1.2.1. Fonte cenuşii cu grafit lamelar turnate în piese (STAS 568-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fc100	100-160	-
2	Fc150	110-250	-
2	Fc200	160-270	-
3	Fc250	210-320	-
4	Fc300	250-320	-
5	Fc350	330-350	-
6	Fc400	350-400	-

A.1.2.2. Fonte cenuşii turnate în piese pentru maşini-unelte (STAS 8541-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FcX200	200	-
2	FcX250	250	-
3	FcX300	300	-
4	FcX350	350	-

A.1.2.3. Fonte cu grafit vermicular turnate în piese (STAS 12443-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fgv300	300	3
2	Fgv350	350	1,5
3	Fgv400	400	1

A.1.2.4. Fonte maleabile turnate în piese (STAS 569-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fma350	240-360	3-6
2	Fma400	360-420	3-10
3	Fmn300	300	6
4	Fmn320	320	8
5	Fmn350	350	10
6	Fmn370	370	12
7	Fmp450	450	6
8	Fmp500	500	5
9	Fmp550	550	4
10	Fmp600	600	3
11	Fmp650	650	3
12	Fmp700	700	2

A.1.2.5. Fonte cu grafit nodular turnate în piese (STAS 6071-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fgn370-17	370	17
2	Fgn420-12	400	12
3	Fgn450-5	450	5
4	Fgn500-7	500	7
5	Fgn600-2	600	2
6	Fgn700-2	700	2
7	Fgn800-3	800	3

A.1.2.6. Fonte refractare turnate în piese (STAS 12443-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FrCr0,4	180	-
2	FrCr0,7	180	-
3	FrCr1,5	150	-
4	FrCr2,5	150	-
5	FrCr16	350	-
6	FrCr30	300	-
7	FrSi5	150	-
8	FrgnSi5	300	-
9	FrAl22	90	-
10	FrgnAl22	250	-
11	FrAl130	200	-

A.1.2.7. Fonte austenitice turnate în piese (STAS 10066-75)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FAlNiMn13.7	140	-
2	FAlNiCuCr15.6.2	170	2
3	FAlNiCuCr15.6.3	190	1
4	FAlNiCr20.2	170	2
5	FAlNiCr20.3	190	1
6	FAlNiCr30.3	190	1
7	FAlNiSiCr20.5.3	190	2
8	FAlNiSiCr20.5.5	170	-
9	FAlNi35	120	1
10	FagnNiMn13.7	390	15
11	FagnNiMn23.4	440	25
12	FagnNiCr20.2	370	7
13	FagnNiCr20.3	390	7
14	FagnNiCr30.1	370	13
15	FagnNiCr30.3	370	7
16	FagnNiCr35.3	370	7
17	FagnNiSiCr20.5.2	370	10
18	FagnNiSiCr30.5.5	390	1
19	FagnNi22	370	20
20	FagnNi35	370	20

A.1.2.8. Fonte rezistente la uzură abrazivă turnate în piese (STAS 11246-79)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FaNiCr1	280-550	-
2	FaNiCr2	280-550	-
3	FaCrMo1	350-500	-
4	FaCrMo2	350-500	-
5	FaVCr	270-630	-
6	FaCr	270-630	-

A.1.3. Proprietățile mecanice ale aliajelor de aluminiu

A.1.3.1. Aliaje de aluminiu turnate în piese (STAS 201 / 2-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			R_m N/mm^2	$R_{p0.2}$ N/mm^2	A %	HB
1	ATNCu4	Îmbătrânit natural	230	210	3	90
		Îmbătrânit artificial	240	210	2	90
2	ATNCu4Si	Turnat	110	80	4	50
		Îmbătrânit natural	190	140	4	55
		Îmbătrânit artificial	240	190	2	75
3	ATNCu4Si4	Turnat	120	90	1	50
		Îmbătrânit natural	190	120	2	55
		Îmbătrânit artificial	210	120	2	75
4	ATNCu4MgTi	Îmbătrânit natural	250	200	3	85
		Îmbătrânit artificial	270	210	2	90
5	ATCCu4MgTi	Îmbătrânit natural	270	210	4	85
		Îmbătrânit artificial	290	230	2	95
6	ATNCu4Ni2Mg	Turnat	150	120	0,5	70
		Îmbătrânit artificial	220	150	0,5	75
7	ATCCu4Ni2Mg	Turnat	160	140	0,5	70
		Îmbătrânit natural	240	180	0,5	95
		Îmbătrânit artificial	260	180	0,5	95
8	ATNCuSi5	Turnat	140	80	1	60
		Îmbătrânit natural	190	110	1	70
		Îmbătrânit artificial	210	120	1	70
9	ATCCuSi5	Turnat	160	80	1	70
		Îmbătrânit artificial	220	120	1	85
10	ATNCu8	Turnat	120	70	1	50
11	ATCCu8	Turnat	130	80	2	55
12	ATNCu10	Turnat	130	100	1	60
13	ATCCu10	Turnat	140	180	1	70
14	ATNCu10Mg	Turnat	140	120	1	70
		Îmbătrânit natural	150	120	0,5	80
		Îmbătrânit artificial	170	150	0,5	100
15	ATCCu10Mg	Turnat	160	130	1	75
		Recopt	170	140	1	110
		Îmbătrânit artificial	270	230	0,5	125
16	ATNSi12Mg	Îmbătrânit artificial	210	160	1	80
17	ATCSi12Mg	Turnat	140	120	2	55
		Îmbătrânit artificial	240	180	1	90
18	ATPSi12Mg	Turnat	180	120	1	55
19	ATNSi4	Turnat	130	70	2	50
20	ATCSi4	Turnat	190	80	1	70
21	ATNSi4Mg	Turnat	130	70	1	50
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	80

(Continuare)

22	ATCSi4Mg	Turnat	160	80	2	75
		Îmbătrânit artificial	240	120	1	85
23	ATNSi5Cu1	Turnat	150	90	1	65
		Îmbătrânit natural	200	160	0,5	80
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	75
24	ATCSi5Cu1	Turnat	160	100	1	50
		Îmbătrânit natural	220	190	0,5	85
		Îmbătrânit artificial	200	160	1	80
25	ATNSi5Cu2	Îmbătrânit artificial	210	120	1	60
26	ATCSi5Cu2	Îmbătrânit artificial	240	150	1	60
27	ATNSi6Cu4	Turnat	150	90	1	60
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	70
28	ATCSi6Cu4	Turnat	160	110	1	70
		Îmbătrânit artificial	270	170	1	80
29	ATPSi6Cu4	Turnat	160	90	1	50
27	ATNSi7Mg	Turnat	130	70	2	55
		Îmbătrânit artificial	200	170	1	75
28	ATCSi7Mg	Turnat	160	90	2	60
		Îmbătrânit artificial	220	180	1	80
29	ATPSi7Mg	Turnat	160	90	1	50
30	ATNSi7MgCu	Turnat	120	80	-	50
31	ATCSi7MgCu	Turnat	130	90	-	60
32	ATPSi7MgCu	Turnat	150	70	0,5	50
33	ATNSi7Cu2	Turnat	130	80	0,5	50
34	ATCSi7Cu2	Turnat	130	80	1	55
35	ATNSi8Cu3	Turnat	160	90	0,5	65
36	ATCSi8Cu3	Turnat	170	100	0,5	70
37	ATPSi8Cu3Fe	Turnat	210	140	0,5	75
38	ATNSi8Cu3Ni	Turnat	180	100	0,5	65
39	ATCSi8Cu3Ni	Turnat	200	160	-	70
40	ATPSi8Cu3Ni	Turnat	200	140	-	75
41	ATNSi9	Turnat	140	80	2	50
42	ATCSi9	Turnat	150	80	1	60
43	ATPSi9	Turnat	160	80	1	60
44	ATNSi9Cu3Mg	Îmbătrânit artificial	160	70	-	65
45	ATCSi9Cu3Mg	Îmbătrânit artificial	180	80	1	70
46	ATPSi9Cu3Mg	Turnat	180	80	1	-
47	ATNSi10Mg	Turnat	150	80	2	50
		Îmbătrânit artificial	200	160	1	75
48	ATCSi10Mg	Turnat	160	90	2	60
		Îmbătrânit artificial	220	150	1	80
49	ATPSi10Mg	Turnat	200	120	1	70
50	ATCSi10Cu3Mg	Turnat	150	120	1	110
		Îmbătrânit artificial	200	170	0,5	110

(continuare)

51	ATNSi10Cu4	Turnat	130	80	0,5	60
52	ATPSi10Cu4	Turnat	170	90	0,5	75
53	ATNSi12	Turnat	160	70	2	45
54	ATCSi12	Turnat	180	80	3	50
55	ATNSi12Fe	Turnat	200	120	1	60
56	ATNSi12MnFe	Turnat	220	130	1	60
57	ATNSi12MgFe	Turnat	220	140	1	60
58	ATNSi12CuMgNi	Turnat	170	120	1	60
		Îmbătrânit artificial	180	140	1	70
59	ATCSi12CuMgNi	Turnat	140	120	1	70
		Recopt	180	140	-	85
		Îmbătrânit artificial	200	160	-	100
60	ATPSi12CuMgNi	Turnat	180	160	-	100
61	ATNSi18CuMgNi	Turnat	120	80	-	80
		Îmbătrânit artificial	170	140	-	95
62	ATCSi18CuMgNi	Turnat	150	100	-	90
		Recopt	180	140	-	110
		Îmbătrânit artificial	200	160	-	110
63	ATPSi18CuMgNi	Turnat	200	160	-	100
64	ATNMg3Si	Turnat	130	70	3	45
		Îmbătrânit artificial	180	100	2	60
65	ATCMg3Si	Turnat	140	70	4	50
		Îmbătrânit artificial	210	110	3	65
66	ATNMg6	Turnat	150	50	2	50
		Îmbătrânit natural	170	110	3	70
67	ATCMg6	Turnat	150	100	2	55
		Îmbătrânit natural	170	120	1	60
68	ATPMg6Fe1	Turnat	170	90	1	60
69	ATPMg9Si	Turnat	180	120	1	70
70	ATNZn5Mg	Îmbătrânit artificial	180	120	3	60
71	ATCZn5Mg	Îmbătrânit artificial	180	120	3	65
72	ATNZn10Si7	Turnat	190	120	2	75
73	ATCZn10Si7	Turnat	240	160	1	85
74	ATPZn10Si7Fe	Turnat	170	100	1	60

A.1.4. Proprietățile mecanice ale aliajelor de cupru

A.1.4.1. Bronzuri (Cu-Sn) deformabile (STAS 93-80)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuSn6	410	60	70
2	CuSn8	460	52	75
3	CuSn4Pb4Zn4	430	56	70

A.1.4.2. Bronzuri (Cu-Sn) turnate în piese (STAS 197 / 2-83)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuSn10	220-230	10-6	65-75
2	CuSn12	220-230	7-5	80-90
3	CuSn14	220-230	2-1	75-80
4	CuSn10Zn2	220-260	10-7	65-75
5	CuSn12Ni	260-280	10-8	90-95
6	CuSn9Zn5	220-240	8-5	65-75
7	CuSn6Zn4Pb4	180-200	8-6	60-70
8	CuSn5Zn5Pb5	180-200	12-10	60-65
9	CuSn4Zn4Pb17	170-200	6-4	55-60
10	CuSn3Zn11Pb4	200-220	10-7	55-60

A.1.4.3. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) pentru deformare (STAS 203-80)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuAl10Fe3	540	12	110
2	CuAl9Mn2	440	20	100

A.1.4.4. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) turnate în piese (STAS 198 / 2-81)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuAl9T	340-390	15-16	80-90
2	CuAl9Fe3T	400-450	8-10	90-100
3	CuAl10Fe3T	440-450	10-12	90-100
4	CuAl9Fe5T	540-590	10-11	110-120
5	CuAl10MnT	440-490	12	90-100

A.1.4.5. Alame (Cu-Zn) pentru deformare (STAS 95-87)

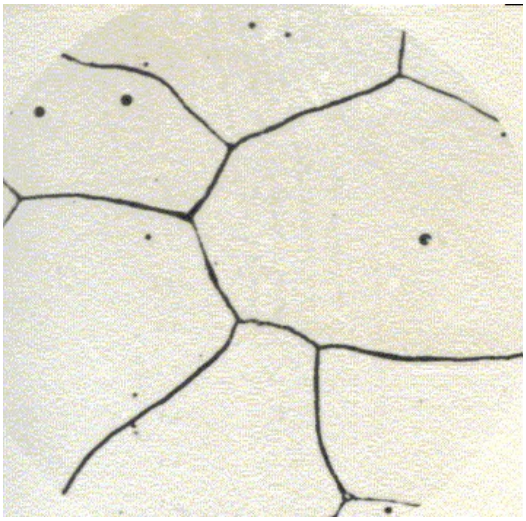
Nr. crt.	Marca	Proprietăţi mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuZn10	270	40	50
2	CuZn15	275	42	55
3	CuZn20	275	44	57
4	CuZn30	250	44	60
5	CuZn36	282	45	62
6	CuZn37	284	46	66
7	CuZn39Pb2	340	30	60

A.1.4.6. Alame (Cu-Zn) turnate în piese (STAS 199 / 2-86)

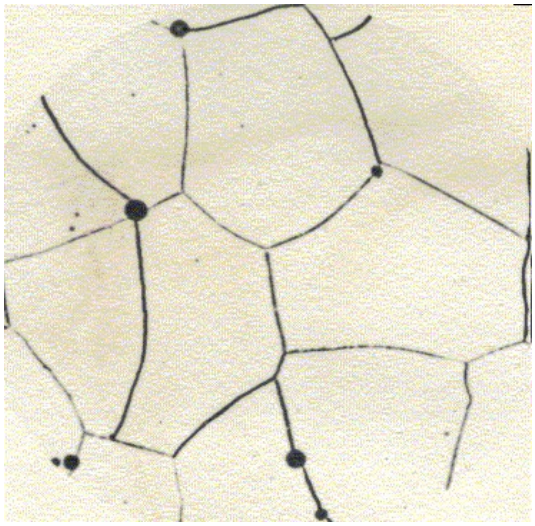
Nr. crt.	Marca	Proprietăţi mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuZn40PbT	200	20	75
2	CuZn33Pb2T	150-160	10-8	40
3	CuZn32Pb2T	180-200	20	40
4	CuZn40PbSnT	280	7	80
5	CuZn40Mn2AlT	350	15	100
6	CuZn38Pb2Mn2T	250-350	10-8	70-80
7	CuZn35Mn2FeAlNiT	350-400	15-10	80-90
8	CuZn40Mn3FeT	450-500	15-10	100

A.2.1. Mărimea grăuntelui conform standardului ASTM E112

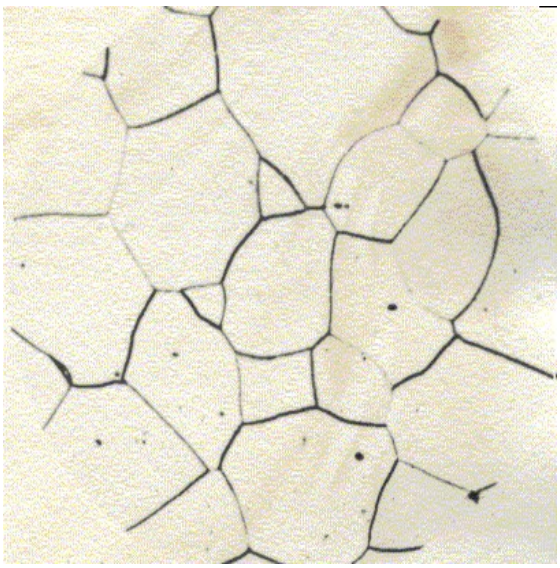
Note: 1. Probele sunt din oțel feritic
2. Atacul chimic este cu nital
3. Imaginile sunt mărite de 1000 de ori



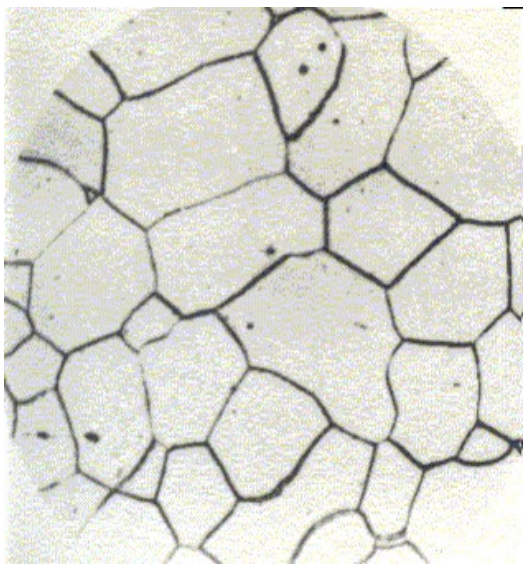
Nr. 1 (1 grăunte pe inch^2)



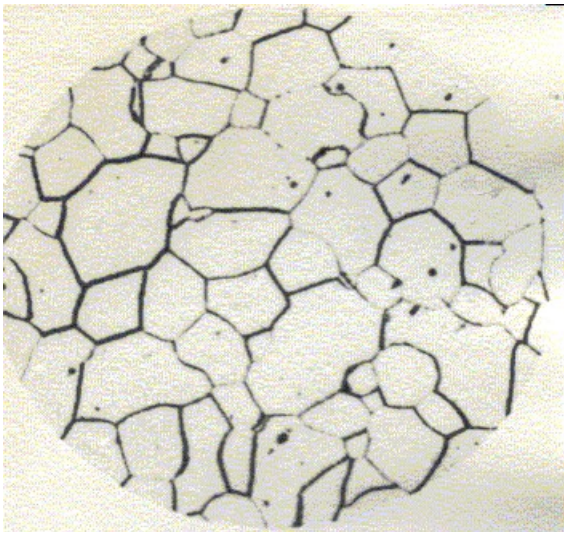
Nr. 2 (2 grăunți pe inch^2)



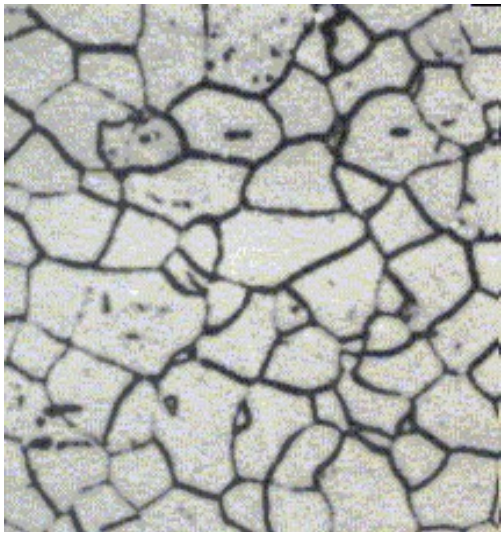
Nr. 3 (4 grăunți pe inch^2)



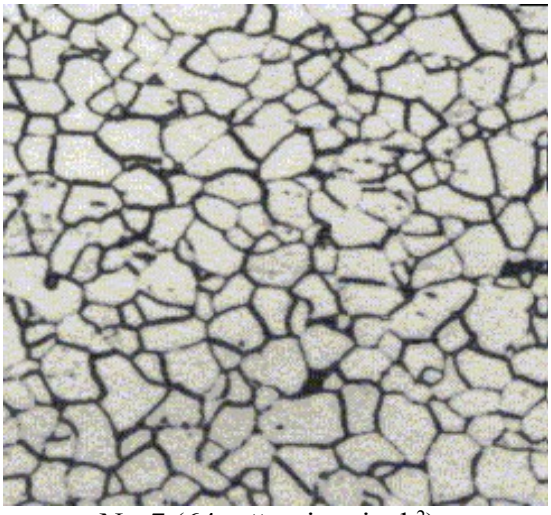
Nr. 4 (8 grăunți pe inch^2)



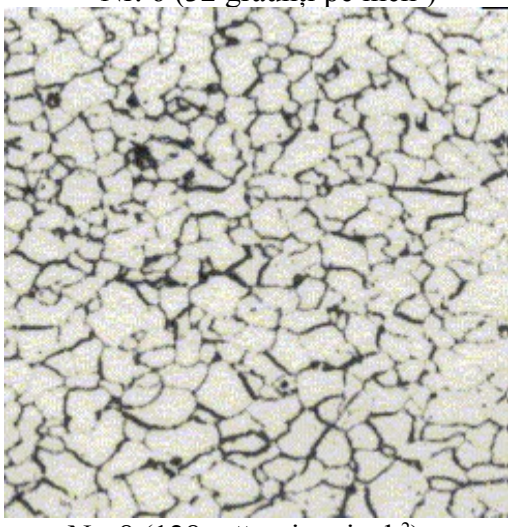
Nr. 5 (16 grăunți pe inch^2)



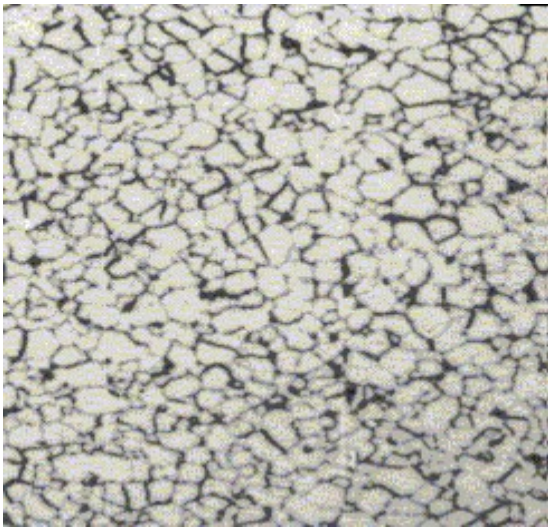
Nr. 6 (32 grăunți pe inch^2)



Nr. 7 (64 grăunți pe inch^2)



Nr. 8 (128 grăunți pe inch^2)

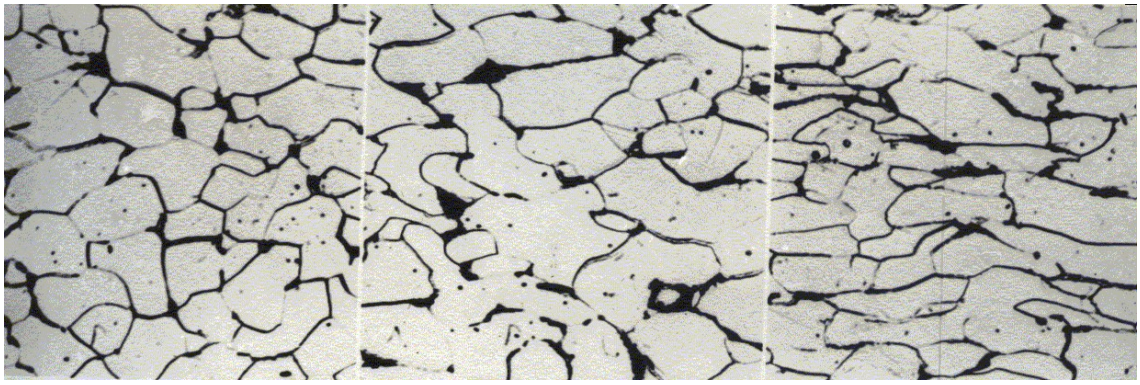


Nr. 9 (256 grăunți pe inch^2)

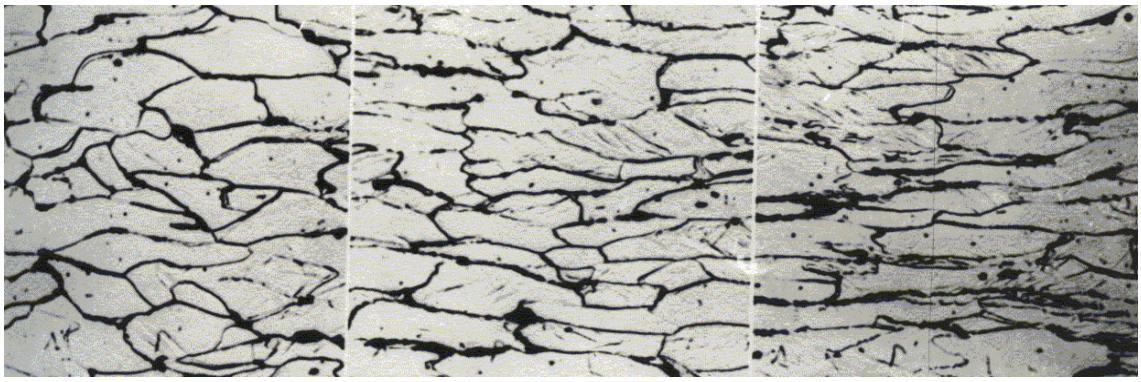
Nr. 10 (512 grăunți pe inch^2)

A.2.2. Efectul gradului de deformare plastică la rece asupra grăunților cristalini

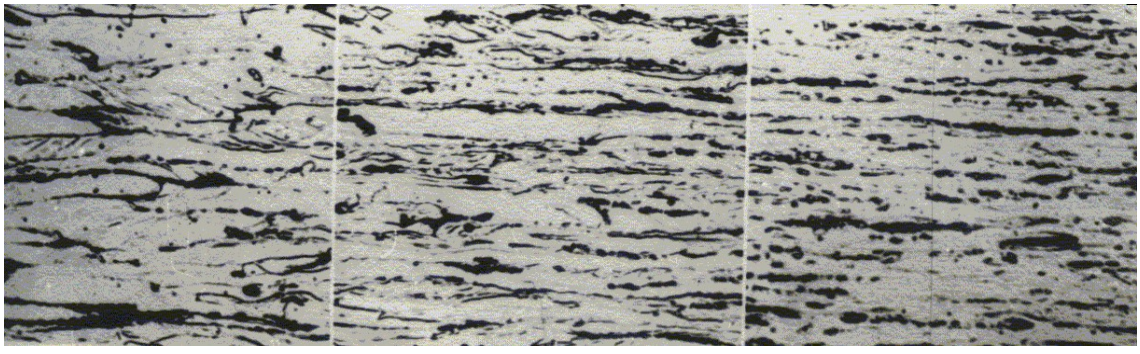
Note: 1. Probele sunt din oțel feritic
2. Atacul chimic este cu nital
3. Imaginile sunt mărite de 1000 de ori



10% deformare 20% deformare 30% deformare



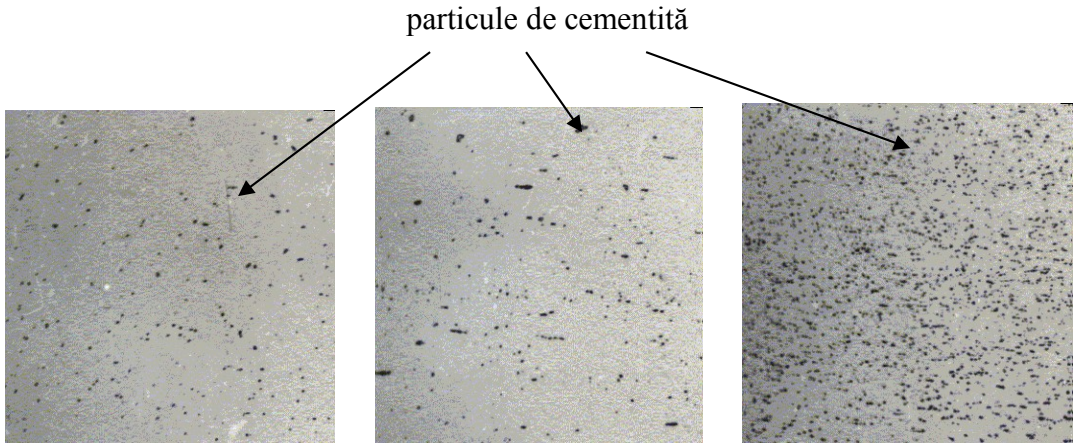
40% deformare 50% deformare 60% deformare



70% deformare 80% deformare 90% deformare

A.2.3. Efectul creşterii conţinutului de carbon asupra cantităţii de cementită

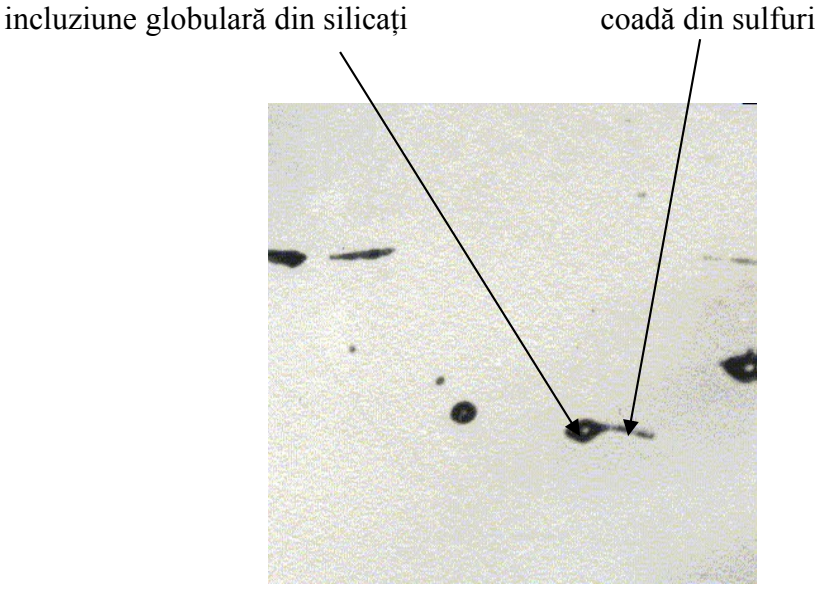
Note: 1. Probele sunt din oţel cu:
0,02% carbon;
0,04% carbon;
0,8% carbon
2. Atacul chimic este cu picral
3. Imaginile sunt mărite de 100 de ori



0,02% carbon 0,04% carbon 0,08% carbon

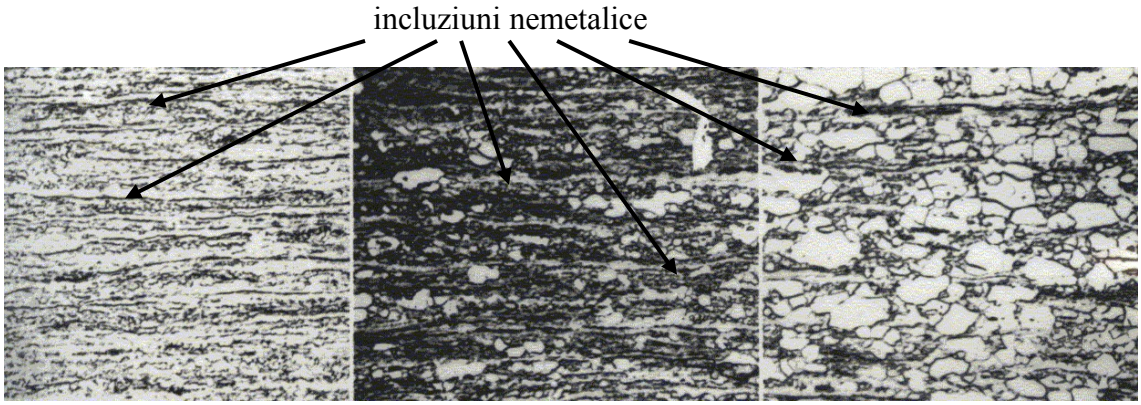
A.2.4. Incluziuni nemetalice comune

Note: 1. Probele sunt din oţel
2. Probele sunt numai şlefuite şi lustruite (fără atac chimic)
3. Imaginea este mărită de 1000 de ori



A.2.5. Efectul recristalizării asupra grăunților cristalini

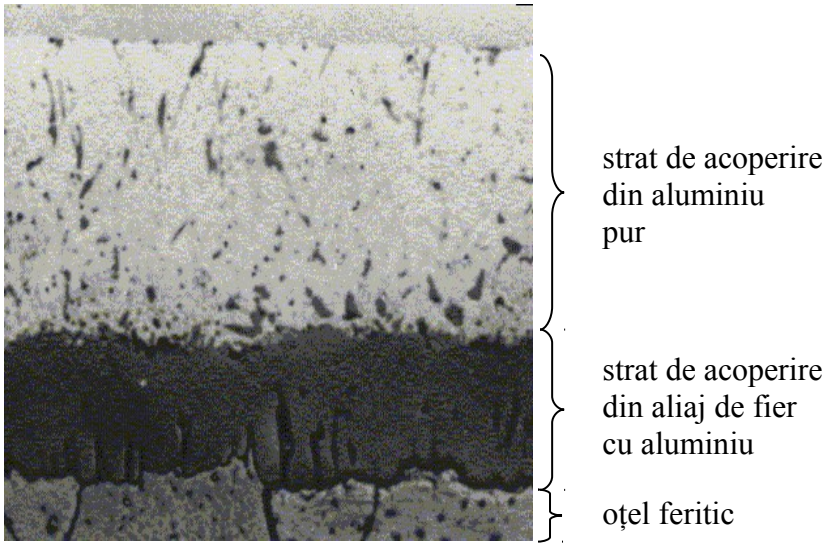
Note: 1. Probele sunt din oțel feritic
2. Atacul chimic este cu nital
3. Imaginile sunt mărite de 1000 de ori
4. Incluziunile nemetalice rămân alungite, aşa cu au rezultat după laminarea la rece cu grad de deformare de 90%



10% recristalizare 40% recristalizare 80% recristalizare

A.2.6. Acoperiri metalice

Note: 1. Probele sunt din oțel feritic acoperit cu aluminiu
2. Atacul chimic este cu nital
3. Imaginea este mărită de 1000 de ori
4. Stratul superior este din aluminiu pur, iar cel intermediar este din aliaj de fier cu aluminiu



BIBLIOGRAFIE

1. Ailincăi, Gh. (1978)- *Studiul metalelor*, I.P.Iaşi.
2. Alexandru, I., Popovici, R., Baciu, C., Bulancea, V., Cojocaru, V., Călin, M., Carcea, I., Alexandru, A., Paloşanu, G. (1997)-*Alegerea şi utilizarea materialelor metalice*, E.D.P., Bucureşti.
3. Apostolescu, R. (1982)-*Cristalografie,Mineralogie*, E.D.P. Bucureşti.
4. Baciu, C., Alexandru, I., Popovici, R., Baciu, M. (1996) -*Ştiinţa materialelor metalice*, E.D.P., Bucureşti.
5. Balteş, I. (2003)-*Materiale amorfe*Materiale compozite*, U. "Transilvania" Braşov.
6. Barralis, J., Maeder, G. (1983)-*Précis de métallurgie*, Nathan, Paris.
7. Barralis, J., Maeder, G. (1997)-*Précis de métallurgie*, Nathan, Paris.
8. Bednar, V., Bednar, H. (1978)-*Chimie fizică generală*, E.D.P., Bucureşti.
9. Carţiş, I.Gh. (1982)-*Tratamente termice*, Editura Facla, Timişoara.
10. Catana, V., Ciucescu, D., Popovici, R., Zichil, V., Paloşanu, G. (1991)- *Tehnologia materialelor (Îndrumar de laborator),* Universitatea din Bacău.
11. Chaussin, C., Hilly, G. (1983)-*Métallurgie (Tome 1),* Dunod, Paris.
12. Ciucescu, D., Popovici, R. (1988)- *Tratamente termice (Îndrumar de laborator)*, I.I.S.Bacău.
13. Ciucescu, D. (1994)- *Tratamente termice (Îndrumar de proiectare)*, Universitatea din Bacău.
14. Ciucescu, D. (1994)-*Tehnologia materialelor electrotehnice şi compozite (Note de curs)*, Universitatea din Bacău.
15. Ciucescu, D., Gheorghian, M. (2001) – *Studiul metalelor (Îndrumar de laborator)*, Universitatea din Bacău.
16. Ciucescu, D., Ciucescu, E. (2000)–*Tipuri de diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare utilizate în studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
17. Ciucescu, D., Ciucescu, E. (2000)–*Oţeluri microaliate cu limită de curgere ridicată (HSLA)*, E.D.P., Bucureşti.
18. Ciucescu, D. (2003) –*Elemente de metalurgie fizică/Elements of Physical Metallurgy*, Editura Plumb, Bacău.
19. Ciucescu, D., Ciucescu,M. (2003) –*Introducere în coroziunea materialelor metalice ăi nemetalice,* Editura Plumb, Bacău.
20. Ciucescu, D., Simionescu, Gh. (2004) –*Elemente de ştiinţa materialelor*, Editura Plumb, Bacău.
21. Ciucescu, D. (2006)–*Ştiinţa şi ingineria materialelor*, E.D.P., Bucureşti.
22. Dulămiţă, T., Florian, E. (1982)-*Tratamente termice şi termochimice*, E.D.P., Bucureşti.
23. Gâdea, S. ş.a. (1978)-*Manualul inginerului metalurg., (vol.1)*, E.T., Bucureşti.
24. Gâdea, S., Petrescu, M. (1985)-*Metalurgie fizică şi studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
25. Geru, N. (1981)-*Teoria structurală a proprietăţilor metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
26. Guy, A.C. (1959) -*Elements of Physical Metallurgy*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachussets.
27. Hagymaş, Gh., Firoiu, C., Radovici, O. (1963) -*Coroziunea şi protecţia metalelor,* E.T., Bucureşti.
28. Ispas, Şt. (1987) -*Materiale compozite*, E.T., Bucureşti.

29. Jinescu, V.V. (1979)-*Proprietăţile fizice şi termomecanice ale materialelor plastice*, E.T., Bucureşti.
30. Lakhtin, I. (1978) -*Métalographie et traitements thermiques des metaux*, Editions Mir, Moscou.
31. Lunguleasa, A. (1995)-*Studiul lemnului*, Universitatea "Transilvania" Braşov.
32. Mihalache, M. (1986)-*Materiale plastice armate*, E.T., Bucureşti.
33. Mihalcu, M. (1985) -*Materiale plastice armate*, E.T. Bucureşti.
34. Mititelea, I., Budău, V. (1987)-*Studiul metalelor (Îndreptar tehnic)*, Editura Facla, Timişoara.
35. Moldovan, P. ş.a. (1979) -*Tehnologii metalurgice*, E.D.P., Bucureşti.
36. Nistor, D., Ripsyky, S., Israel, G. (1980) –*Materiale termorigide armate*, E.T., Bucureşti.
37. Popescu, N. (1974)-*Tehnologia şi practica tratamentelor termice*, E.T., Bucureşti.
38. Popescu, N., Gheorghe, C., Popescu, O. (1990)-*Tratamente termice neconvenţionale*, E.T.,Bucureşti.
39. V. Popescu (1988)-Pietriş –*Utilaje din materiale grafitice,* E.T., Bucureşti.
40. Popovici, R., Ciucescu, D., Simionescu, Gh. (1985)-*Tratamente termice (Note de curs)*, I.I.S.Bacău.
41. Ştefănescu, F., Neagu, G., Mihai, A. (1996) – *Materiale compozite*, E.D.P., Bucureşti.
42. Timaru, Fl., Dobrescu, E. (1966)-*Îndrumar practic pentru protecţia anticorozivă*, E.T., Bucureşti.
43. Trotignon, J. P., Verou, J., Piperau, M. (1986)-*Précis de matiéres plastiques,* Nathan, Paris.
44. Truşculescu, M. (1977)-*Studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
45. Vacu, S. ş.a. (1980)-*Elaborarea oţelurilor aliate,* vol.1, E.T.,Bucureşti.
46. Vârcolacu, I., Gheorghiu, Fl. (1977)-*Utilaje metalurgice,* E.D.P., Bucureşti.
47. G. Zgură, V. Moga –*Bazele proiectării materialelor compozite,* Editura Bren, Bucureşti, 1999;
48. Wanyorek, C. (1975) - *Tratamente termice (Curs şi laborator)*, Universitatea din Braşov.
49. *** (2001) *Engineered Materials Handbook, vol.2*, ASM International, Ohio
50. *** (1983) – *Microscopul metalografic MC – 6 (Carte tehnică)*, I.O.R. Bucureşti